啮齿动物帮助行为动机的实证研究*

韩书† 陈亚勤† 郑本汇源 王雅欣 尹彬**
（福建师范大学心理学院，福州，350108）

【摘要】近年来利用啮齿动物模型探究帮助行为动机成为新趋势，共情、减轻自身痛苦和社会接触欲望等被认为是啮齿动物做出帮助行为的动机。本研究以108只Sprague–Dawley大鼠为被试，改进了Carvalheiro等（2019）的两腔室帮助行为实验装置，以三个实验探究啮齿动物帮助行为的主要动机。研究结果表明：（1）不论暗室是否存在，社会接触欲望和追求有趣环境是帮助行为的主要动机；（2）自身痛苦的减轻以及之前的社会接触经历而非受困经历有助于帮助行为的发生及持续性。

【关键词】啮齿动物；帮助行为；动机；社会接触；自身痛苦；共情

【中图分类号】B843.2

An empirical study on the motivation of helping behavior in rodents

HAN Shu, CHEN Yaqin, ZHENG Benhuiyuan, WANG Yaxin, YIN Bin
(School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou, 350108, China)

Abstract:

As a kind of prosocial behavior, helping behavior is universal across species. In recent years, it has become a new trend for scholars at home and abroad to use rodent models to explore the motivation of helping behavior. Empathy, relieving personal distress and desire for social contacts are considered to be plausible motivations for rodents to help, but debates about whether helping behavior is inspired by one of the motives or a combination of them still exist. In this study, in order to explore the motivation of helping behavior in rodents, the two-chamber experimental setup designed by Carvalheiro et al. (2019) was improved by adding an intermediate chamber to manipulate the possibility of the free rat's social contact with the entrapped rats after implementing the helping behavior as well as the possibility of the free rat's escaping from the helping context to relieve its personal distress in the process of helping decision-making.108 male Sprague–Dawley rats were used as subjects in three experiments. The delay to opening the gate for helping the entrapped rat escape and the duration of social

*本研究得到国家自然科学基金重点支持项目（U1805263）及福建师范大学人事处“海外引进人才—青年英才”科研启动项目（Z0210509）的资助。
†同等贡献作者；**通讯作者：尹彬，E-mail: byin@fjnu.edu.cn

interaction after opening the gate were recorded.

Experiment 1 confirmed the existence of helping behavior and the impact of social contact on helping behavior under the condition of being unable to escape from the helping context, using a 2 (possibility of social contact: yes/no) × 4 (trapper conditions: empty, familiar rat, unfamiliar rat, toy rat) mixed experimental design. The results show that when social contact was allowed, the free rat maintained a consistently short latency to help, but when social contact was not allowed, the free rats' latency to help became longer and longer as sessions went on until the free rat no longer helped at all within the 15min session limit.

Experiment 2 explored the impact of social contact on helping behavior under the condition of being able to escape from the helping context, using a 2 (possibility of social contact: yes/no) × 4 (trapper conditions: empty, familiar rat, unfamiliar rat, toy rat) mixed experimental design. The results show that the existence of darkroom was beneficial for the non-social contact group to help continuously, but extended the latency to help in the social contact group, namely, relieving personal distress contributes to the emergence of helping behavior, but the emergence of helping behavior ultimately depends on whether social contact could be made.

Experiment 3 explored the influence of previous social contact experience and current social contact possibility on helping behavior under the condition of the free rats' having been trapped before, using a 2(possibility of social contact: yes/no) × 2 (previous social contact experience: yes/no) × 4 (trapper conditions: empty, familiar rat, unfamiliar rat, toy rat) mixed experimental design. The results show that previous experiences of being trapped did not affect helping behavior, but previous experiences of social contact were conducive to maintain continuous helping behavior in the non-social contact group.

In summary, the following conclusions were obtained through this study: (1) Desires for social contact desire and the pursuit of interesting environment are important motivations for rodents' helping behavior, regardless of the existence of the place (dark room) to escape from the helping context. (2) Relieving personal distress can help sustain helping behavior, but the emergence of helping behavior ultimately depends on whether social contact can be carried out after helping. (3) Previous experiences of social contact rather than the experiences of having been trapped contribute to the occurrence of helping behavior. (4) Empathy may not the main reason to maintain helping behavior but rather can be used to describe the process of helping behavior.

This study extends the comparative research on the motivations of helper behavior and provides some hints for the psychological development and educational practices in humans.

Keywords: rodents; helping behavior; motivation; social contact; personal distress; empathy

1 前言

帮助行为作为亲社会行为的重要形式，指旨在协助他人解决问题或减轻痛苦（Stukas & Clary, 2012），以他人为导向并对他人有利的行为（Mason, 2021）。帮助行为是有意为之的行为，无意做出却使他人受益的不能称为帮助行为（Mason, 2016）。赠人玫瑰，手有余香，帮助行为根据内容分为工具性帮助和情感性帮助（Bamberger et al., 2017），前者指提供具体有形的或目标导向的帮助，如捐赠、帮扶，后者指提供情感方面的帮助支持，如关心、安慰、鼓励。研究表明，咿呀学语的婴儿，在生命的第一年与第二年间，会试图理解他人的痛苦，以拥抱、拍拍（Zahn-Waxler et al., 1992）表示对他人痛苦的关心，做出情感性帮助。然而，帮助行为并非人类特有，非人灵长类也会表达对同类的关怀和帮助，研究发现，看到同伴经历战败后，倭黑猩猩会用身体接触安慰同伴（Clay & de Waal, 2013a, 2013b）；黑猩猩洛美（Lome）拒绝独享美食，与同伴友好分享（Schmelz et al., 2017）；两只野生雌性倭黑猩猩主动收养外群幼崽（Tokuyama et al., 2021），它们的帮助行为超越了亲缘关系。

非人灵长类动物做出帮助行为不足为奇，相对低等的哺乳动物做出帮助行为似乎难以置信。然而早在20世纪六十年代，Rice 和 Gainer（1962）就发现身处自由状态的大鼠（以下称“自由鼠”）会通过按压杠杆帮助在另一个腔室中受到电击或悬挂压力的被困鼠；而近十年的研究则表明，自由鼠会不断尝试解救被困在狭小空间（限制器）的笼友（Bartal et al., 2011, 2014, 2016, 2021; Cox & Reichel, 2020; Ueno et al., 2019），或解救在水室中挣扎的同伴（Cox & Reichel, 2020; Kandis et al., 2018; Sato et al., 2015）。它们可以区分同类和物体，在玩具鼠和空笼条件下，开门救援行为变少（Bartal et al., 2011）；当有“旁观鼠”时，帮助行为依然出现（Havlik et al., 2020）；面对食物诱惑，它们也会舍弃“一己私利”选择避免伤害同伴（Hernandez-Lallement et al., 2020; Keysers et al., 2022）；与只为自己提供食物的一侧相比，大鼠偏好选择为自己和同伴同时提供食物的一侧（Márquez et al., 2015）。事实上，通过搜索该领域的相关研究，可知自2011年起，关于啮齿动物帮助行为的研究日渐增加（图 1）。

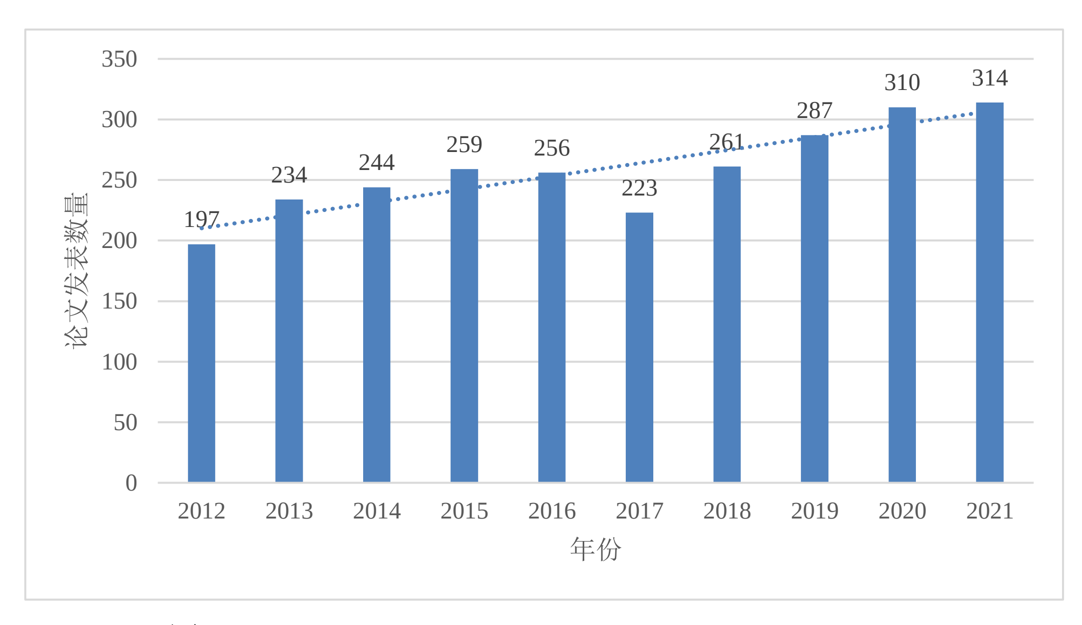


图1 近十年来大鼠帮助行为的论文发表数量（Web of Science）

注：2022年9月16日，在 Web of Science 上以“helping behavior in rats”为主题词对近十年的研究进行检索，获得近 10 年大鼠帮助行为论文的发表数量，并用Excel绘制柱状图；图中的虚线是年份、论文发表数量的线性回归线，公式为$Y = 10.745X - 21409.709$，$R^2 = 0.768$，表明自2012年以来，该主题论文发表数量逐年增加。

对以上研究中的帮助行为现象，有学者将其解释为啮齿动物对处于痛苦状态的同类的共情能力，认为自由鼠通过情绪传染过程感知同类的痛苦，为减轻同类的痛苦而做出帮助行为（Bartal et al., 2011, 2014; Cox & Reichel, 2020; Sato et al., 2015）—共情指的是一种感知和体验他人情绪，做出有益于他人行为的能力（黄翯青, 苏彦捷, 2012; 王启忱等, 2021）。然而，Carvalheiro 等（2019）认为啮齿动物帮助行为的动机是减轻目睹同伴受难时自身感受到的痛苦。Lavery 和 Foley（1963）在研究中曾将一只大鼠悬挂在半空中发出痛苦尖叫，他们发现，自由鼠会自发地学会按下横杆帮助被悬挂的大鼠摆脱痛苦，或者按下横杆关闭痛苦尖叫的回放，终止厌恶声音的存在。因此，被困鼠的不适状态会使自由鼠感受到痛苦（Gonzalez-Liencres et al., 2014），而面对引起厌恶情绪、自身痛苦的事件时，大鼠会以帮助或逃避的方式解决（Hernandez-Lallement et al., 2020; Knapska et al., 2010）。此外还有一种观点认为，作为群体动物，啮齿动物偏好与同类互动（Bibb et al., 1972），社会接触、社会互动是帮助行为的动机（Hachiga et al., 2018; Hiura et al., 2018）。Silberberg 等（2014）的研究表明，当自由鼠与被困鼠不能社交互动时，随着测试次数的增加，自由鼠开门的潜伏期变长。这表明，无法社会接触可能阻碍帮助行为的发生（Heslin & Brown, 2021; Schwartz et al., 2017）。总之，关于啮齿动物帮助

行为原因的观点既有利他动机的共情解释，也有利己动机的减轻自身痛苦或追求社会接触的解释，但啮齿动物帮助行为的动机究竟出于其中一种因素还是多种因素的综合、不同因素的作用程度如何仍有争议。对此，本研究通过改进 Carvalheiro 等（2019）的实验装置，控制大鼠能否社会接触、能否逃离情境减轻自身痛苦，检验以上几种解释的合理性。

此外，帮助者与受助者的熟悉度可能影响大鼠的帮助行为。研究发现，只有在被困鼠与自由鼠熟悉的情况下，被困鼠的恐惧才能传递到观察鼠身上（Gonzalez-Liencres et al., 2014）；面对不同熟悉程度的被困鼠时，自由鼠会更快帮助熟悉鼠而非陌生鼠 （Bartal et al., 2014）；Burkett 等（2016）的实验也支持了该结果。对此，本研究将参照 Bartal 等（2011, 2014）的研究，通过操纵不同限制器条件（空笼、玩具鼠、熟悉鼠、陌生鼠）来检验。同时，之前类似的受困经历可以促进大鼠的帮助行为（Hernandez-Lallement et al., 2020; Sato et al., 2015），之前的社会接触经历也会影响大鼠的帮助行为决策（Bartal et al., 2014）；但对在可逃离帮助的情境下，这些因素如何影响帮助行为尚未探讨，因此我们在实验中通过暗室情境并对自由鼠和被困鼠角色反转以探究。

综上，本研究的目的在于检验下面的假设是否为真：（1）共情是大鼠帮助行为的动机，自由鼠在限制器中为同类（包括熟悉鼠和陌生鼠）的条件下比在限制器中为客体（包括空笼和玩具鼠）的条件下开门延时更短；（2）社会接触是大鼠帮助行为的动机，能与被困鼠社会接触时，自由鼠的开门延时更短；（3）减轻自身痛苦是大鼠帮助行为的动机，存在暗室可以减轻自身痛苦时，自由鼠的开门延时更短；（4）有被困经历和社会接触经历的自由鼠的开门延时更短；（5）熟悉度影响大鼠的帮助行为，与陌生的被困鼠相比，当限制器中为熟悉的被困鼠时，自由鼠的开门延时更短。

本研究通过啮齿动物的比较研究，探索帮助行为动机中的主要推动力，有助于拓展帮助行为动机的科学理论解释。

2 方法

2.1 被试

以 108 只 4 月龄雄性 Sprague–Dawley 大鼠为被试（实验一、实验二各 54 只，实验三使用实验一、二中的被试）。实验一中，将所有被试随机分配到 18 个饲养笼中，3 只一笼。根据实验过程中自由鼠开门后能否与被困鼠社会接触，将被试随机分为实验组（即社会接触条件，n = 21，含 7 只熟悉被困鼠）、对照组（即无社会接触条件，n = 21，含 7 只熟悉被困鼠），并随机确

定每笼的被试为自由鼠（n = 2）和熟悉被困鼠（n = 1）；此外，实验中另有被试专用作陌生被困鼠（n = 12）。实验二中，被试的分配方法与实验一完全相同。实验三中，进行角色反转，自由鼠（n = 28）使用实验一、二中的被困鼠，其中有社会接触经历和无社会接触经历的各 14 只，再根据在实验三过程中能否与被困鼠进行社会接触，将每组的 14 只分为社会接触条件和无社会接触条件，得到有社会接触经历-社会接触条件（n = 7）、有社会接触经历-无社会接触条件（n = 7）、无社会接触经历-社会接触条件（n = 7）、无社会接触经历-无社会接触条件（n = 7）。控制环境温度（22 ± 1）°C，湿度（50 ± 5%），光照时间（21:00--次日 9:00），每天定时投放食物（20g /只）和水。

2.2 工具和材料

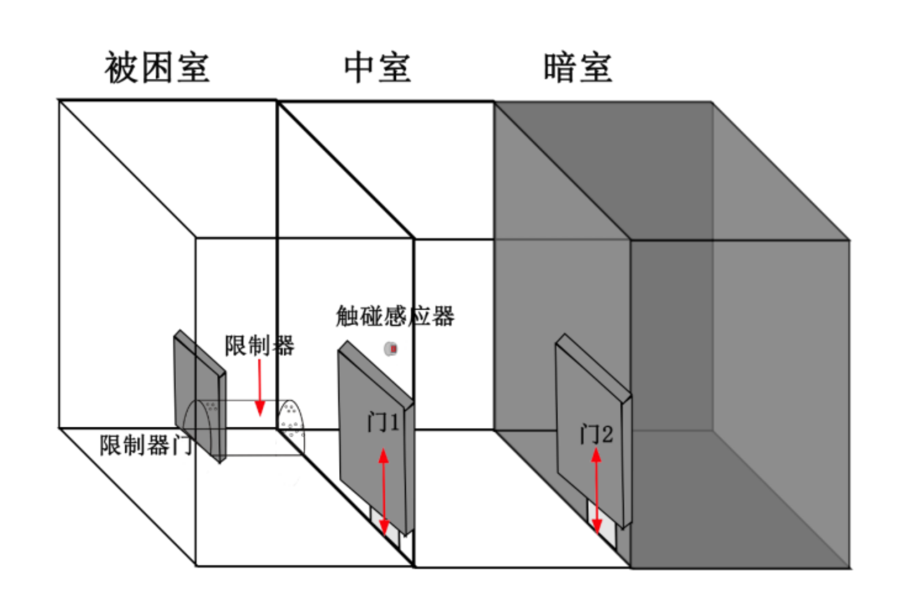


图 2 本研究所用实验装置

注：实验开始时，将被困鼠关在限制器中，关闭限制器门和门 1，将自由鼠从中室放入。实验一中，门 2 处于关闭状态，社会接触组的自由鼠在触碰感应器开门后可以在中室和被困室活动，无社会接触组的自由鼠触碰感应器前后都只能在中室活动。实验二中，门 2 处于打开状态，实验过程中所有自由鼠均可在中室和暗室活动，社会接触组的自由鼠打开门 1 后还可到被困室活动。实验三自由鼠的活动范围与实验二相同。

为了探究社会接触欲望、减轻自身痛苦和之前受困经历等因素对大鼠帮助行为的影响，本研究改进了 Carvalheiro 等（2019）的实验装置，增加中室以控制自由鼠能否与被困鼠社会接触。如图 2 所示，三个腔室（均为 40 × 40 × 60 cm）从左至右依次为被困室、中室和暗室。限制器（20 × 10 × 5 cm）置于被困室中，关入被困鼠后，自由鼠不连续触碰中室墙壁上的接触感应器（FR - 5 不连续），限制器的门将打开，被困鼠获救。被困室与中室的透明墙壁允许视觉信息交

流；限制器和中室墙壁相连的区域有嗅孔，允许听觉、嗅觉信息传递；中室与暗室由不透明的黑色墙壁隔开。门 1 的开合状态决定了自由鼠能否与被困鼠社会接触，根据实验条件由电脑程序 Graphic State 4（Coulbourn Instruments, Holliston, MA）控制；门 2 的开合状态决定了自由鼠能否进入暗室逃离帮助情境，根据实验条件需手动控制。

2.3 实验设计

本研究采用限制器开门范式，使遭受束缚应激的被困鼠处于不适状态（Campos et al., 2010; Pitman et al., 1988），探究自由鼠的开门帮助行为。分为三个实验设计，实验一采用 2（社会接触：允许、不允许）× 4（限制器条件：空笼、熟悉鼠、陌生鼠、玩具鼠）的二因素混合设计，以能否与被困鼠社会接触为被试间变量，限制器条件为被试内变量，探究在无法逃离情境下，社会接触对大鼠帮助行为的影响；实验二的实验设计同实验一，但是为被试提供了可以逃离帮助情境的场所（暗室），考察通过逃离情境减轻自身痛苦对大鼠帮助行为的影响；实验三将实验一、二中的自由鼠和被困鼠角色反转，在自由鼠都有被困经历的条件下，进行 2（先前被困时的社会接触经历：有、无）× 2（社会接触：允许、不允许）× 4（限制器条件：空笼、熟悉鼠、陌生鼠、玩具鼠）的三因素混合设计，先前被困时有无社会接触经历和当前实验过程中能否与被困鼠社会接触为被试间变量，限制器条件为被试内变量，通过角色反转，探究先前的被困经历或先前的社会接触经历对大鼠帮助行为的影响。同时，三个实验中，都设置了 4 种不同的限制器条件，探究熟悉度对大鼠帮助行为的影响。

2.4 实验程序

（1）适应环境

自大鼠入库后，对所有被试进行为期 11 天的触摸互动，每次 5 min /只，有利于它们缓解焦虑水平（Costa et al., 2012），适应饲养环境，适应人手的接触，与主试建立良好的关系。(注意：由于实验三使用实验一、二的大鼠，因此实验三中无需对被试重新触摸互动)

（2）适应实验装置

为减少大鼠在测试中由于环境新颖产生的紧张感，抚摸适应结束后，适应实验装置。打开门 1 和限制器门，允许自由鼠探索装置 15 min；被困鼠的适应在测试阶段开始前进行。

（3）开门学习阶段

24 h 后，开始自由鼠的开门学习阶段。每日减少大鼠喂食量，在限制器内放入巧克力丸，将半饥饿状态的自由鼠从中室中央放入，探索中，它们如果触碰到墙上的感应器，限制器的门

和门 1 将同时打开，可以进入限制器享用巧克力丸。为了使自由鼠从偶然开门到学会有目的地开门，开门学习由易到难分为三个阶段。阶段一中，自由鼠只需要触碰一次感应器（FR-1），门 1 和限制器的门将开启；阶段二中，自由鼠需要连续触碰 5 次感应器（FR-5 连续），门 1 和限制器的门方可开启；而阶段三中，自由鼠需要不连续触碰 5 次感应器（FR-5 不连续），门 1 和限制器的门才能打开；三个阶段中对自由鼠行为相关的操作性定义见表 1。当所有自由鼠在阶段三中能够连续三个试次保持较低的开门延时（ $\leqslant$ 200s），学习结束[1]。同时，研究中对未学会开门的自由鼠进行加练学习（在感应器上涂抹巧克力，增进触碰的概率），一直学不会开门的自由鼠将被剔除，本研究中的被试都成功学会了开门。

表 1 开门学习阶段中不同条件下对大鼠行为的操作性定义

阶段	条件	操作性定义
阶段一	触碰一次感应器	自由鼠的头、鼻子、前爪等身体任何部位接触到感应器，且接触次数为一次
阶段二	连续触碰 5 次感应器	自由鼠的头、鼻子、前爪等身体任何部位接触到感应器，且接触过程为连续的 5 次，每两次之间没有时间间隔要求
阶段三	不连续触碰 5 次感应器	自由鼠的头、鼻子、前爪等身体任何部位接触到感应器，且接触过程为不连续的 5 次，每两次之间的时间间隔需要 $\geqslant$ 1s

（4）帮助行为测试阶段

确保所有自由鼠学会了开门，所有被困鼠也适应过装置后，开始帮助行为测试。测试中，记录自由鼠的开门延时时长（s），即自它们进入中室到通过不连续 5 次触碰感应器成功开门的时间，根据对大鼠救援行为的前期测试，发现每个试次开门时间的最佳上限为 15 min，若 15 min 内未开门，开门延时记为 900s。社会接触组中，自由鼠开门后可以进入被困室与被困鼠探索互动，相反，无社会接触组开门后只能在中室（实验一）和暗室（实验二和实验三）活动。

本研究经福建师范大学实验动物伦理审查委员会审查通过（编号: IACUC-20210040）并在实验过程中遵守了“3R 原则”。

2.5 实验数据处理

使用 *Jamovi* 对实验结果进行多因素重复测量方差分析及独立样本 t 检验，对各个条件下社会接触组和无社会接触组的开门延时（开门学习阶段、帮助行为测试）进行描述性统计，同时检验各条件间的显著性差异（$p < 0.05$ 为差异有统计学意义），进行多重比较和简单效应分析；

[1] 实验三中由于实验日程的限制，只需一天满足条件便结束学习，但可以确保自由鼠学会了开门。

使用 Graphpad Prism 8.0 绘图。

本研究数据集已上传中国科学数据银行（Science Data Bank），可登录匿名私有链接 https://www.scidb.cn/anonymous/bWVlbXVl 下载审核。

3 结果

3.1 学习阶段结果

以实验处理为组间变量，学习次数为组内变量进行重复方差分析。实验一结果（图 3、表 S1）表明，组间主效应不显著 $F(1, 26) = 0.36$，$p = .553$，$\eta^2_{partial} = .01$，说明社会接触组和无社会接触组在学习阶段的开门延时差异不显著。同样，实验二结果（图 4、表 S2-1）表明，组间主效应显著，$F(1, 26) = 6.02$，$p = .021$，$\eta^2_{partial} = .19$，经比较，由于学习第一天无社会接触组中有四只大鼠未开门，造成了结果差异，但在后续（除了第一天）的学习中（表 S2-2），组间效应不显著，$F(1, 26) = 3.38$，$p = .078$，$\eta^2_{partial} = .12$，说明社会接触组和无社会接触组在学习阶段的开门延时差异不显著。

实验三中，以之前有无社会接触经历、实验过程中能否社会接触为组间变量，学习次数为组内变量进行重复方差分析。结果（图 5、表 S3）表明，之前社会接触经历主效应不显著，$F(1, 24) = 0.19$，$p = .669$，$\eta^2_{partial} = .01$；实验中能否社会接触主效应不显著，$F(1, 24) = 0.52$，$p = .476$，$\eta^2_{partial} = .02$，说明不同实验处理的被试在学习阶段的开门延时差异不显著。

综上可知，在每个实验中，所有自由鼠不仅都学会了开门，而且不同实验处理的大鼠，几乎同等程度地学会了开门。

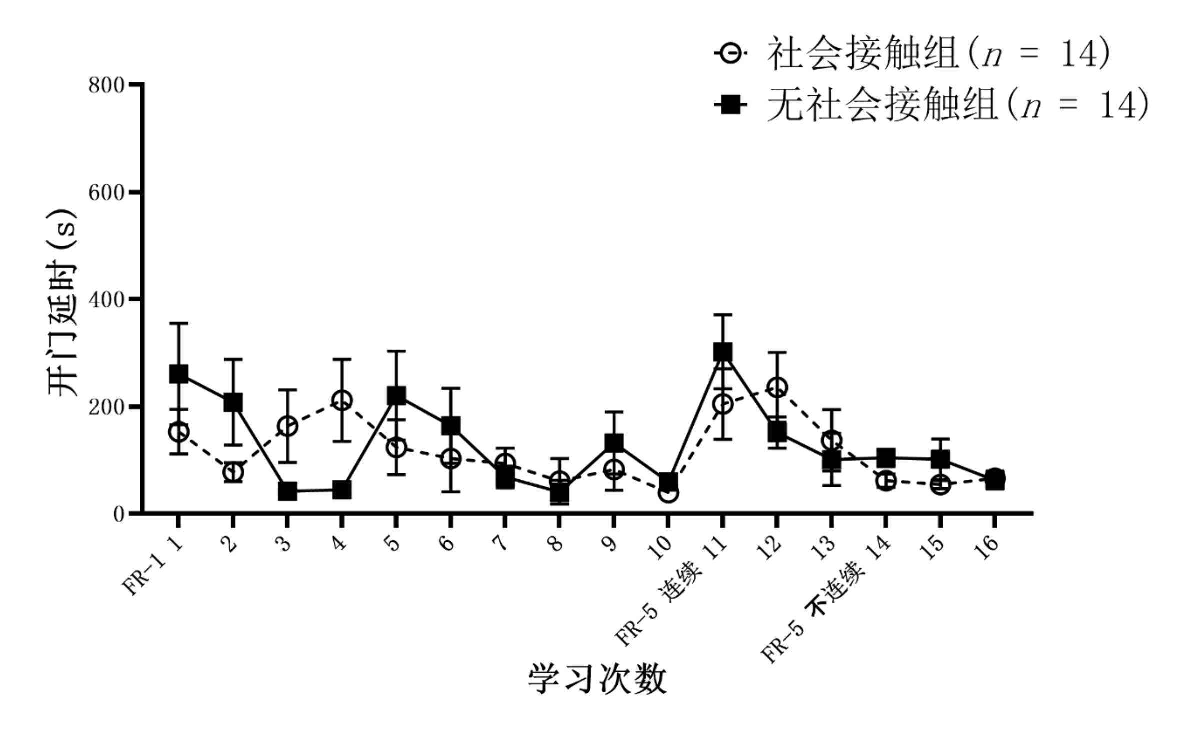


图 3 实验一学习阶段开门延时

注：横坐标为学习次数（天数），持续16次（天）。1 - 10天为学习阶段一，被试只需触碰感应器1次即可开门；11 - 13天为学习阶段二，被试需连续触碰感应器5次（Fixed Ratio - 5 times，FR - 5）才可开门；14 - 16天为学习阶段三，被试需不连续触碰感应器5次才可开门。结果用 ***M* ± *SE*** 来表示，下同。

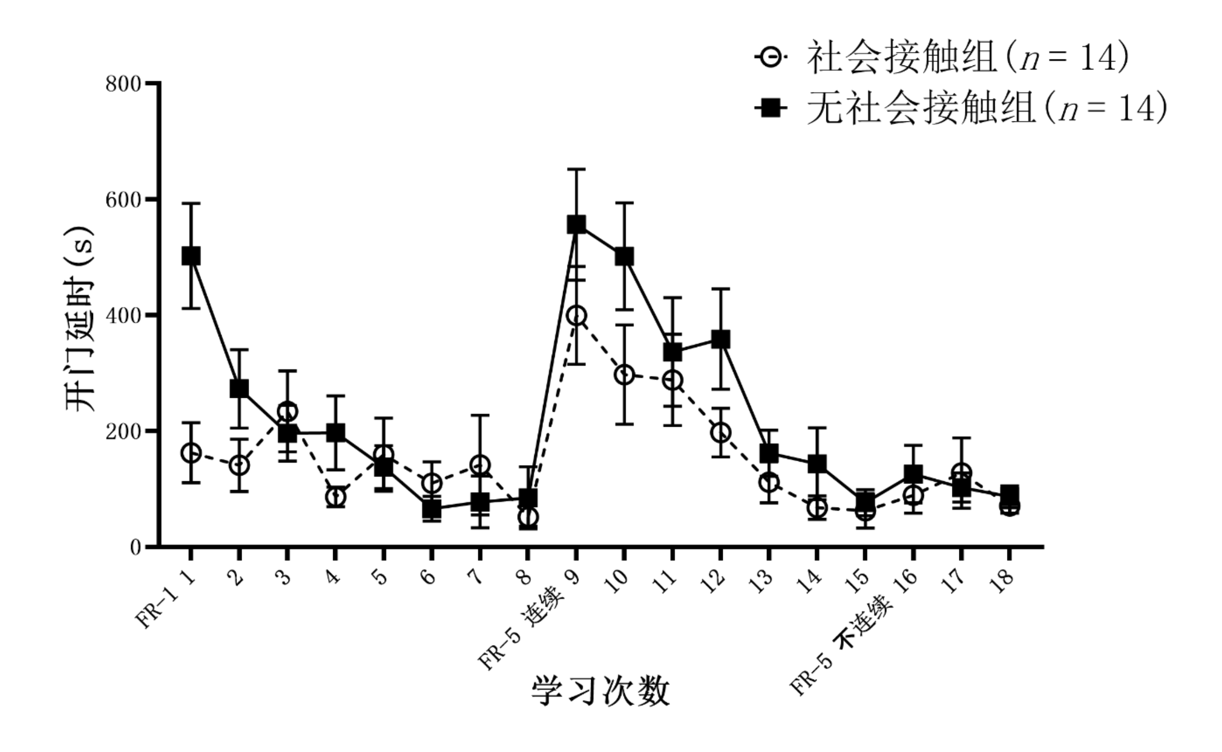


图 4 实验二学习阶段开门延时

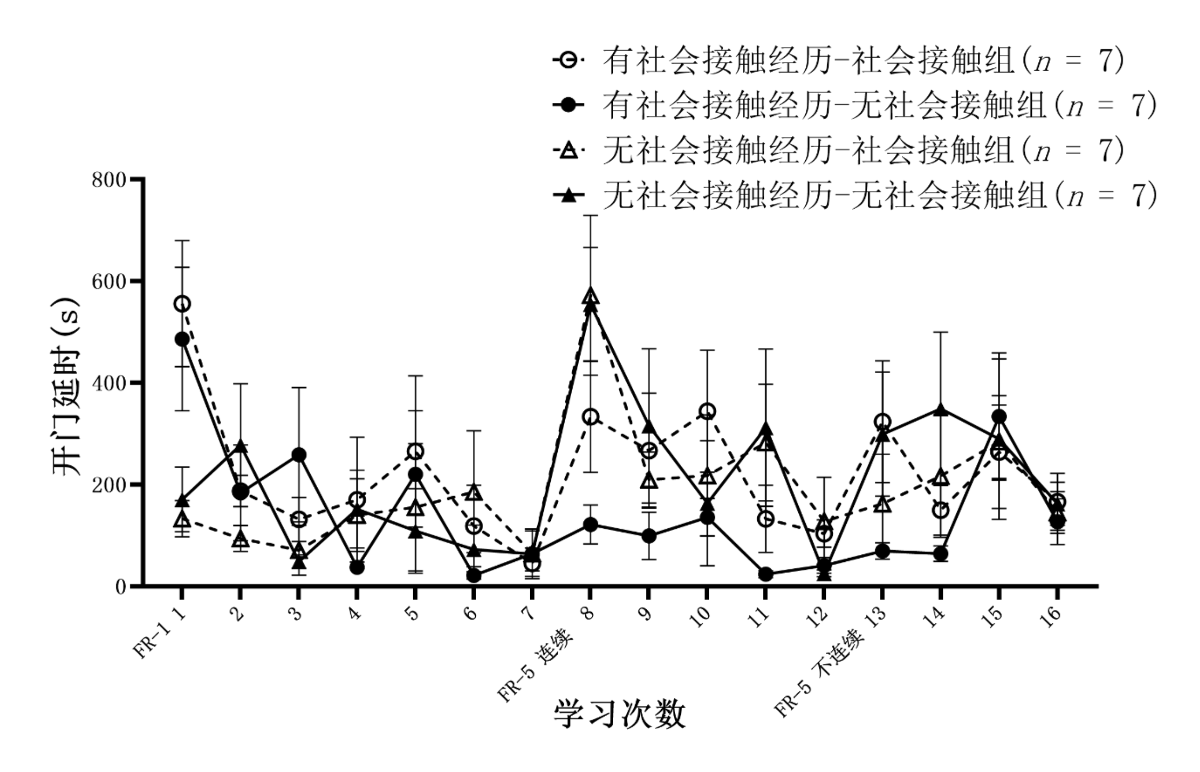


图 5 实验三学习阶段开门延时

3.2 测试阶段结果

3.2.1 实验一：无法逃离条件下社会接触对帮助行为的影响

实验一的帮助行为测试共进行了 9 天，每三天为一个时期取平均值，按测试天数依次分为前期、中期和晚期（图 6）。开门延时的方差分析结果（表 S4-S5）表明，实验处理主效应显著，$F(1, 26) = 144.16$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .85$，社会接触组的开门延时（61.7 ± 5.9 s）显著短于无社会接触组（522.8 ± 38.0 s），这支持假设（2），说明社会接触是维持大鼠帮助行为的重要动机，能与被困鼠接触时自由鼠的开门延时更短。测试时期主效应显著，$F(2, 52) = 60.89$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .70$，测试前期的开门延时（175.5 ± 28.8 s）显著短于测试中期（293.6 ± 53.3 s）和测试晚期（407.7 ± 69.1 s）。测试时期和实验处理交互作用显著，$F(2, 52) = 64.16$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .71$，社会接触组在不同测试时期下不存在显著差异，而无社会接触组在测试前期（283.6 ± 39.3 s）的开门延时显著短于测试中期（531.0 ± 55.8 s）和测试晚期（753.8 ± 36.7 s），说明不能社会接触时，随着实验日程的推移，无社会接触组开门延时逐渐增加，这支持假设（2）。另外，限制器条件主效应显著，$F(3, 78) = 3.22$，$p = .027$，$\eta^2_{partial} = .11$，但客体条件下的开门延时（278.8 ± 46.2 s）短于同类条件（305.7 ± 50.8 s），不支持假设（1）；同时，熟悉鼠和陌生鼠条

件下的开门延时差异不显著，$t(26) = 0.38$，$p = .980$，不支持假设（5）。

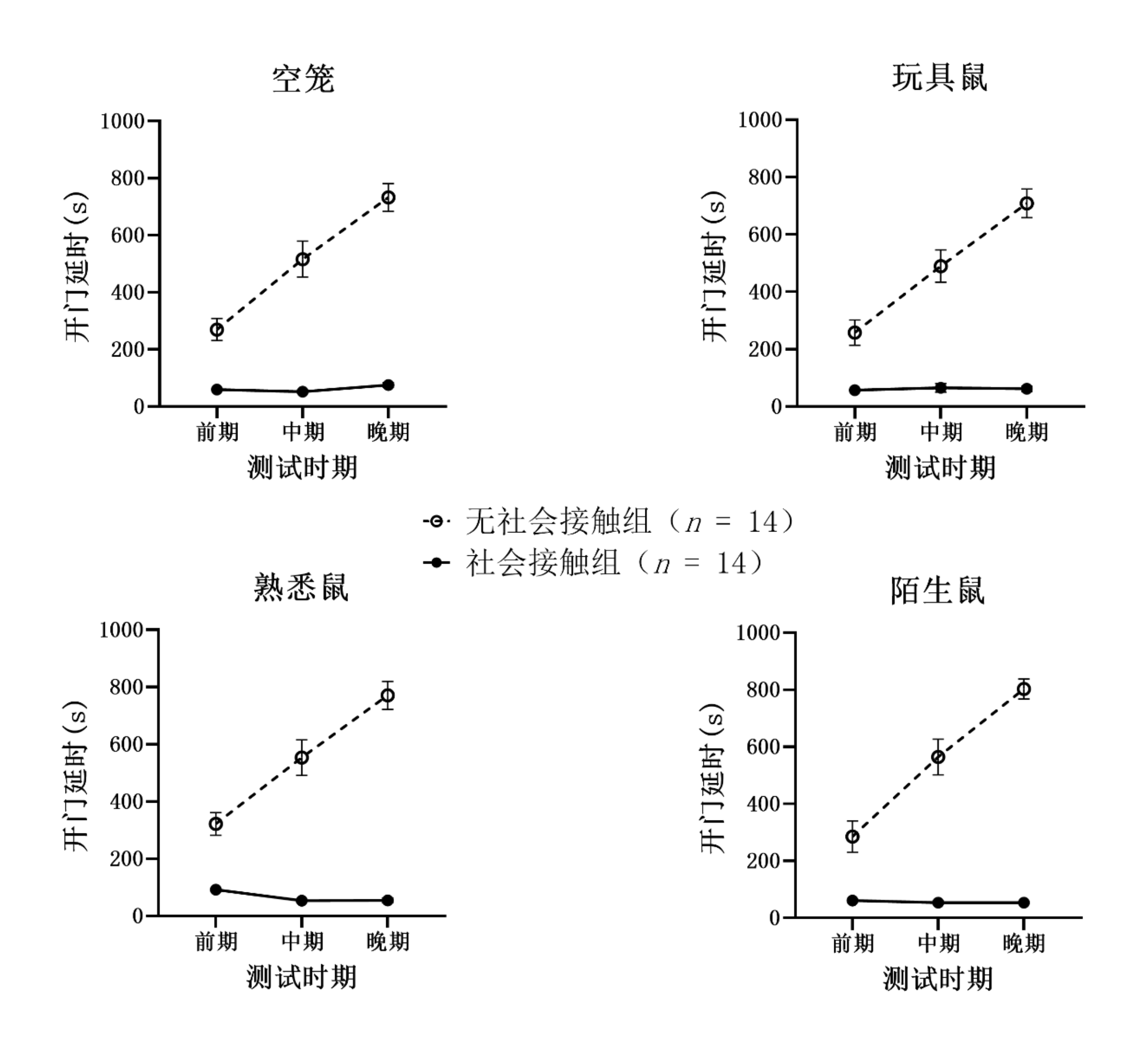


图 6 实验一帮助行为测试结果

为了进一步检验自由鼠开门行为的共情属性，根据质性编码的原则，随机抽取实验一中社会接触组的 3 个个案（并增加了 2 个个案检验是否理论饱和），对共计 180 个视频中自由鼠开门前的动作序列进行人工观察和编码，发现相同限制器条件下不同个体在开门前的运动轨迹有相似之处（表 2）。首先，空笼条件下，自由鼠通常执行的动作序列为“走动-单次碰-嗅-走动-单次碰”，即每个试次中，大鼠进入装置后总是先绕着中室四周走动，而非先嗅嗅孔，玩具鼠条件下的运动轨迹与空笼类似；与此相反，熟悉鼠条件、陌生鼠条件中，自由鼠通常执行的动作序列为“嗅-走动-单次碰”或“嗅-走动-嗅-走动-单次碰”，即自由鼠进入装置后总是先嗅嗅孔，这可能反映了它们对被困同类的关心。另一方面，空笼条件下，“连续触碰感应器”的动作在前期出现得多、时间早，而在晚期出现得少、时间迟，造成晚期的开门延时略高于前期；而在

熟悉鼠或陌生鼠条件下，“连续触碰感应器”的动作晚期多于前期，造成晚期的开门延时略低于前期（图 6）；而有同类被困时，随着测试天数的增加，大鼠连续触碰感应器的频率越来越高、首次出现的时间越来越早，可能反映了它们日益急切地帮助同类、释放被困鼠。

表 2 实验一中自由鼠开门前运动轨迹表

测试阶段	空笼	熟悉鼠	陌生鼠	玩具鼠
前期	走动-单次碰-嗅-走动-单次碰	嗅-走动-单次碰	嗅-走动-嗅-走动-单次碰	走动-单次碰-嗅-走动-单次碰
	走动-单次碰-嗅-连续碰	嗅-走动-嗅-走动-单次碰	嗅-走动-单次碰	走动-单次碰-连续碰
	嗅-走动-单次碰-连续碰	嗅-单次碰-嗅-走动-单次碰	走动-嗅-嗅-走动-单次碰	嗅-走动-单次碰
中期	走动-单次碰-嗅-走动-单次碰	嗅-走动-单次碰	嗅-走动-嗅-走动-单次碰	嗅-走动-单次碰
	走动-嗅-单次碰	嗅-走动-单次碰-连续碰	嗅-走动-单次碰……连续碰	走动-单次碰-嗅-走动-单次碰
	走动-单次碰-走动	嗅-单次碰-走动-连续碰	走动-嗅-走动-单次碰	走动-单次碰-连续碰
后期	走动-单次碰-嗅-走动-单次碰	嗅-走动-单次碰	嗅-走动-嗅-走动-单次碰	走动-单次碰-嗅-走动-单次碰
	走动-嗅-单次碰	嗅-走动-嗅-走动-单次碰	嗅-走动-嗅-走动 -连续碰	嗅-走动-单次碰
	嗅-走动-单次碰	走动-嗅-单次碰-嗅-连续碰	走动-嗅-走动-单次碰	走动-嗅-单次碰

表注： 嗅—嗅嗅孔；走动—绕着中室四周/中央处走动；单次碰—感应器处触碰一次；连续碰—感应器处连续触碰多次。

3.2.2 实验二：可逃离条件下社会接触对帮助行为的影响

实验二的帮助行为测试进行了 9 天，同样按照测试天数分为前期、中期和晚期（图 7）。开门延时的方差分析结果（表 S6-S7）表明，实验处理主效应显著，$F(1, 26) = 123.75$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .83$，社会接触组的开门延时（76.6 ± 7.9 s）短于无社会接触组（405.7 ± 28.5 s），这支持假设（2），说明社会接触是维持大鼠帮助行为的重要动机，能与被困鼠接触时，自由鼠的开门延时更短。测试时期主效应显著，$F(2, 52) = 77.10$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .75$，测试前期的开门延时（158.9 ± 19.9 s）短于测试中期 （214.4 ± 32.8 s）和测试晚期 （350.1 ± 56.0 s)。测试时期和实验处理交互作用显著，$F(2, 52) = 77.91$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .75$，无社会接触组在测试前期的开门延时（235.9 ± 25.9 s）显著短于测试中期（359.3 ± 34.3 s）和晚期（621.9 ± 39.2 s)，而社会接触组在测试前期的开门延时（81.9 ± 7.4 s）与测试中期（69.5 ± 7.9 s）和测试晚期（78.3 ±

11.2 s）没有明显差异。限制器条件主效应显著，$F(3, 78) = 9.97$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .28$，但客体条件下的开门延时（211.3 ± 30.5 s）短于同类条件 （271.0 ± 40.8 s），不支持假设（1）；同时，熟悉鼠和陌生鼠条件下的开门延时差异不显著，$t(26)= 1.39$， $p = .517$，不支持假设（5）。

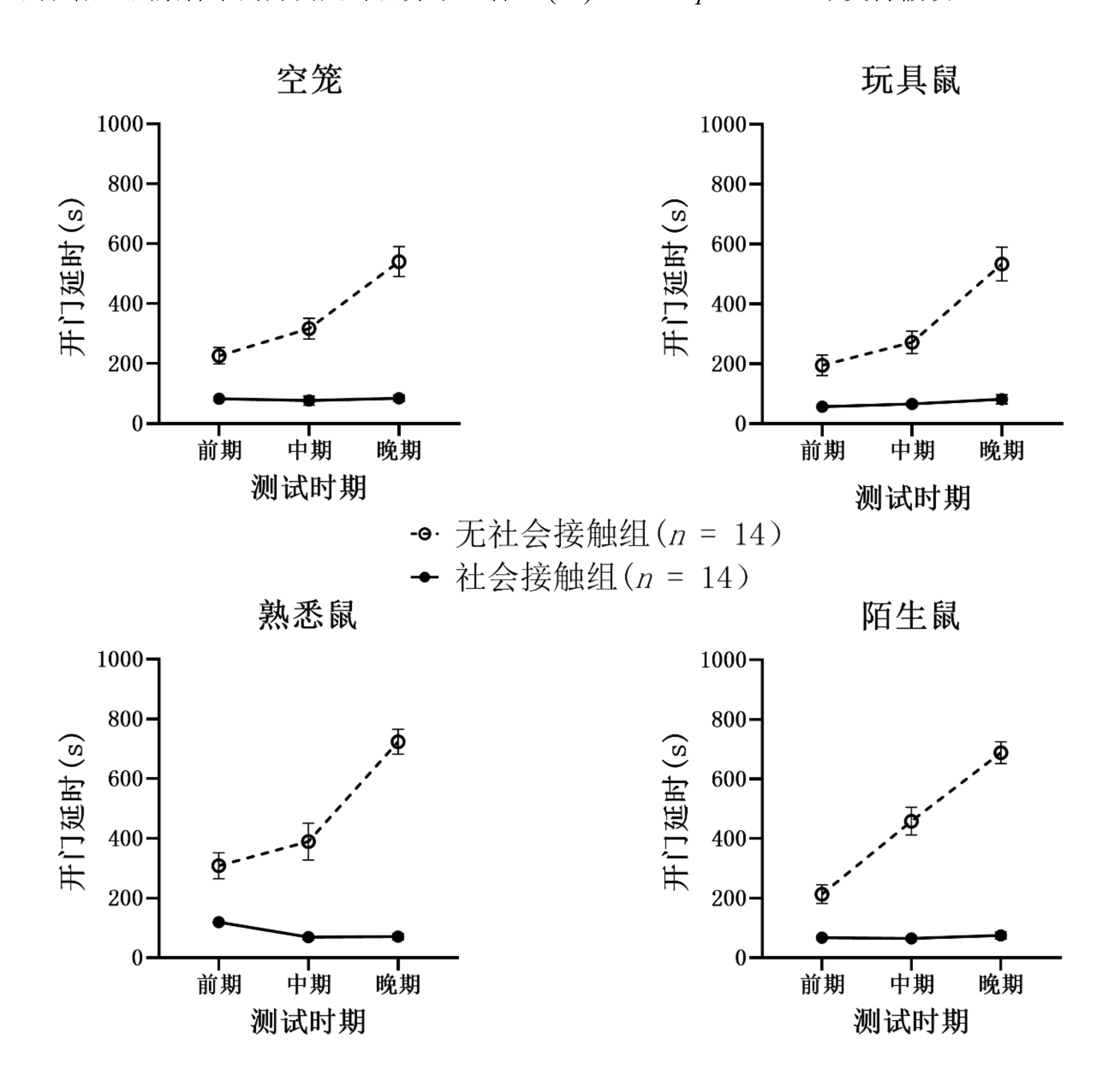


图 7 实验二帮助行为测试结果

3.2.3 对比分析：实验一与实验二

比较实验一与实验二社会接触组的开门延时，以研究（实验一、实验二）为组间变量，条件和测试时期为组内变量进行重复测量方差分析（表 S8-S9），结果显示，研究主效应不显著，$F(1, 26) = 2.27$，$p = .144$，$\eta^2_{partial} = .08$。然而，比较实验一与实验二无社会接触组的开门延时（表 S10-S11），结果显示，研究主效应显著，$F(1, 26) = 6.09$，$p = .021$，$\eta^2_{partial} = .19$，实验二的开门延时（405.7 ± 28.5 s）短于实验一的开门延时（522.8 ± 38.0 s）。由于实验二较实验一的不

同仅在于暗室开放，因此，实验一、二的对比结果支持了假设（3），说明暗室的存在有助于缓解大鼠的痛苦，使无社会接触组的开门延时变短，连续开门行为增加。

3.2.4 实验三：可逃离条件下先前受困经历与社会接触对帮助行为的影响

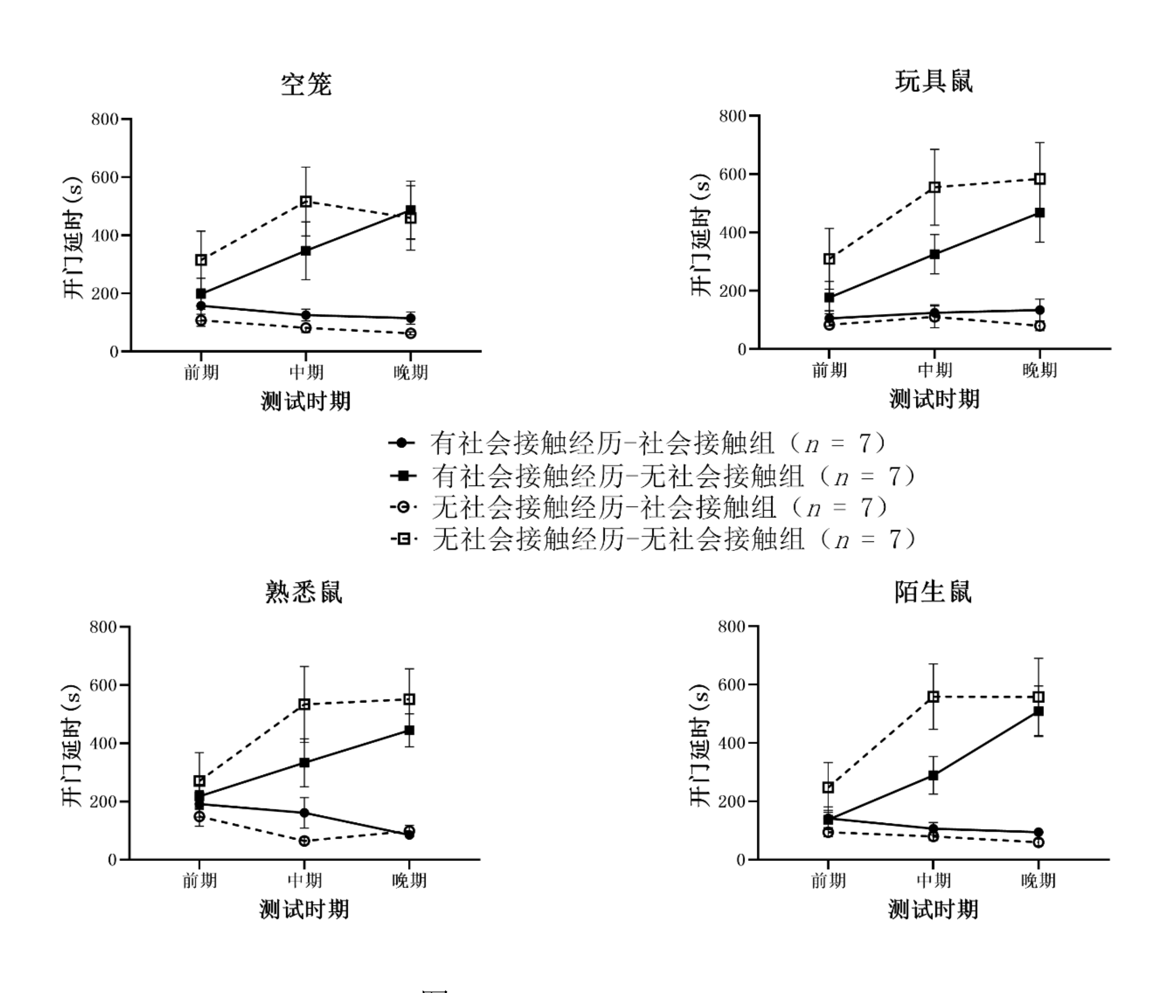


图 8 实验三帮助行为测试结果

实验三的帮助行为测试进行了 6 天，按测试天数分为前期、中期和晚期（图 8）。开门延时的分析表明（表 S12-S13），实验处理主效应显著，$F(1, 24) = 28.50$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .54$，社会接触组的开门延时（108.9 ± 13.0 s）显著短于无社会接触组的开门延时（391.3 ± 52.5 s），这支持假设（2），说明社会接触是维持大鼠帮助行为的重要动机。测试时期主效应显著，$F(2, 48) = 11.24$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .32$，测试前期的开门延时（181.4 ± 27.6 s）短于测试中期（269.6 ± 48.3 s）与测试晚期（299.3 ± 48.6 s）。测试时期和实验处理交互作用显著，$F(2, 48) = 19.12$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .44$，进一步检验发现，无论有无社会接触经历，无社会接触组在测试前期的开门延时（234.1 ± 47.9 s）明显短于测试中期（432.4 ± 73.0 s）和测试晚期（507.4 ± 55.3 s），这同样支持假设（2），说明不能接触时，随着实验日程的推移，无社会接触组开门延时逐渐增加。

此外，社会接触经历主效应不显著，$F(1, 24) = 0.69$，$p = .414$，$\eta^2_{partial} = .03$；社会接触经历

与实验处理交互作用不显著，$F(1, 24) = 2.47$，$p = .129$，$\eta^2_{partial} = .09$；然而，多重比较结果显示，之前有社会接触经历大鼠的开门延时（228.1 ± 36.0 s）短于无社会接触经历组（272.1 ± 68.0 s），尤其在无社会接触组中，之前有社会接触经历大鼠的开门延时（327.7 ± 42.4 s）短于无社会接触经历组（454.9 ± 93.7 s），说明社会接触经历对大鼠的帮助行为会产生影响，部分支持假设（4）。限制器条件主效应不显著，$F(3, 72) = 0.44$，$p = .727$，$\eta^2_{partial} = .02$，客体条件下的开门延时（251.3 ± 38.2 s）与同类条件（248.9 ± 38.4 s）几乎没有差异，不支持假设（1）；同时，熟悉鼠和陌生鼠条件下的开门延时差异不显著，$t(24) = 1.59$，$p = .404$，不支持假设（5）。

3.2.5 对比分析：实验二与实验三

为了保持时间的一致性，取实验二前 6 天的数据，按照测试天数每两天取平均值，分为前期、中期和晚期。比较实验二和实验三社会接触组开门延时的差异，以研究为组间变量，条件和测试时期为组内变量进行重复测量方差分析（表 S14-S15），结果显示，研究主效应显著，$F(1, 26) = 5.08$，$p = .033$，$\eta^2_{partial} = .16$，但实验三中大鼠的开门延时（108.9 ± 13.0 s）长于实验二（75.7 ± 7.0 s）。同样，比较实验二与实验三无社会接触组的开门延时（表 S16-S17），结果显示，研究主效应不显著，$F(1, 26) = 2.48$，$p = .128$，$\eta^2_{partial} = .09$，实验三中大鼠的开门延时（391.3 ± 52.5 s）长于实验二（297.6 ± 28.1 s）。由于实验二和实验三的不同仅在于被试的角色转化，通过比较，可知无论社会接触组还是无社会接触组，实验三的开门延时都长于实验二，即过去的被困经历不会使大鼠的帮助行为更快发生，不支持假设（4）中与被困经历相关的假设。

4 讨论

4.1 共情或非维持大鼠帮助行为的主要原因

尽管共情通常被认为是社会认知的一种基础能力，但比较认知（Comparative Cognition）的视角认为，共情实际上包含情绪共情（由刺激驱动的自下而上的自动化过程, 是对其他个体情绪状态的替代性体验）、认知共情（个体依据一定的概念系统和规则, 识别和理解他人情绪感受及其产生原因的过程）和行为共情（个体共情过程中外显的行为倾向或行为反应）三个成分（王启忱等, 2021; 魏祺, 苏彦捷, 2019）。共情演化的“俄罗斯套娃”模型（de Waal & Preston, 2017）认为，共情的内核是感知运动机制（Perception-Action Mechanism），即当观察者感知对方的状态时，神经系统将自发激活自身与该种状态、情境相关的个体表征，使观察者能够理解对方的情绪状态，或引发自身相似的情绪状态。Bartal 等（2011）、Cox 和 Reichel（2020）以及 Sato 等（2015）的研究表明，即使不能社会接触，大鼠依旧做出帮助行为，因而判定除了共情

动机似乎没有其他可能的合理解释（Mogil, 2012）。与这些研究不同，本研究中虽然观察到自由鼠对被困鼠存在如嗅探、僵直等表征共情的行为，但并不足以表明共情是维持大鼠帮助行为的主要动机。首先，束缚在限制器里的被困鼠身体蠕动、扭转，排泄增加，反映其处于强烈应激和需要帮助的状态。其次，大鼠可以通过嗅觉线索识别同类，获得关于社交对象的信息（Brown, 1979），并确定同类的压力、焦虑状态（Galef & Wigmore, 1983），以及确定对方是否需要帮助（Gerber et al., 2020; Schneeberger et al., 2020）。此外，无社会接触组自由鼠在开门很慢甚至不开门的试次中伴随着很多僵直行为，而僵直是衡量大鼠情绪传染、感同身受的重要指标（Conti et al., 2012）。以上自由鼠的嗅探、僵直等行为表明它们从同类身上获取了信息，发生了情绪传染，然而与客体条件相比，自由鼠并不因同类在受难就更快地开门。另外本研究通过质性编码发现，当限制器中存在同类时（熟悉鼠和陌生鼠条件），自由鼠进入中室最先做的动作通常是嗅嗅孔；而当限制器条件为客体时（空笼和玩具鼠条件），自由鼠进入中室则通常先四处走动。同时，在测试晚期，无社会接触组虽最终没有帮助开门，但它们却依然频繁待在离被困鼠最近的嗅孔处。因此，无论能否社会接触，自由鼠都能共享被困鼠的情绪状态。然而大鼠的帮助行为并不因情绪共享而持续稳定发生，却由于能否社会接触出现出明显差异，这说明（情绪）共情并非维持大鼠帮助行为的主要原因，而包含了情绪、认知和行为三个成分的共情更像是对帮助行为发生过程的一种理论描述。

4.2 帮助行为可能是大鼠追求社会接触和环境“趣味性”的附属品

本研究三个实验的结果均表明，当控制自由鼠与被困鼠能否社会接触时，社会接触组与无社会接触组自由鼠的开门延时存在显著差异，支持了社会接触假说。当大鼠能与同类社会接触时，帮助行为更可能发生（Heslin & Brown, 2021; Schwartz et al., 2017; Silberberg et al., 2014），无法社会接触将使自由鼠的开门行为逐渐减少。如果将实验一中社会接触组条件和非社会接触组条件进行反转（即此时社会接触组开门后无法进入被困室社会接触，而无社会接触组开门后可以进入被困室社会接触），开门延时结果同样反转了（详见附录 S2 部分）。这些结果与Schwartz等（2017）和Silberberg等（2014）的发现一致。同样，国内学者开创的大鼠疼痛共情行为模型表明，大鼠中存在由与疼痛中的被困鼠社会互动驱动的共情安慰行为（C.-L. Li et al., 2018; Z. Li et al., 2014）。打斗、玩耍是物种常见的游戏形式（Henry & Herrero, 1974; Kight et al., 2021; Pellis & Pellis, 1997），从中获得的社会接触可以激活、强化与奖励相关的回路。青春期的社交游戏对哺乳动物的成长发育意义重大（Graham & Burghardt, 2010; Michael & Székely,

2019），本研究的被试为青春期大鼠，它们与同龄鼠的社会互动有很高的价值（Douglas et al., 2004; Latané & Werner, 1978; Vanderschuren et al., 1997）。因此，当社会接触组的自由鼠可以在开门后与被困鼠（熟悉的笼友、陌生鼠）或玩具鼠互动玩耍时，帮助行为更可能发生。

另外，实验装置（图 2）中，限制器尾端的长方体平台与开门后可钻进去的限制器一样，增加了被困室的趣味。随机对某一天（实验二测试第 5 天）的视频进行统计，发现在空笼和玩具鼠条件下，近 80 % 的自由鼠爬上平台或钻入限制器，表明被困室的限制器作为"玩乐设施"，能促进自由鼠的开门。对此，Ueno 等（2019）认为啮齿动物出现类似救援的行为可能是由于对限制器的兴趣，而不是共情。他们在实验中放了两个限制器，其中一个关了笼友，另一个为空，让小鼠自由选择，结果小鼠对空限制器表现出更多关注，优先待在空限制器中而不是营救被困笼友。Silberberg 等（2014）发现，大鼠在前 5 天的开门延时更短，可能因为进入新环境时，探索环境的动机促进它们更快开门，帮助行为是探索环境的附属品。因此，环境的改变对大鼠的帮助行为动机有调节作用，当社会接触的环境更有趣时，帮助行为将不是纯粹的亲社会行为动机，而是大鼠获得社会接触或探索趣味环境的方式。

4.3 暗室的存在可减轻自身痛苦，有助于促进大鼠的帮助行为

比较实验一和实验二的研究结果，可知当暗室开放时，社会接触组的自由鼠通过触碰感应器解救被困鼠的开门延时增加了，这与前人的发现一致（Carvalheiro et al., 2019）。Bartal 等（2016）的研究表明，给自由鼠服用抗焦虑药物显著减少了开门行为，说明自由鼠感受到的痛苦是打开限制器门所必需的。本研究中没有使用抗焦虑药物，而是让自由鼠选择逃到暗室来减轻自身的痛苦。通过观察社会接触组的暗室视频，发现自由鼠进入暗室并未出现梳毛或僵直行为，相反，它们多在明暗两室穿梭或探索暗室墙壁，表明暗室的存在增加了社会接触组的探索区域。而与此相反，无社会接触组在暗室开放时的开门延时显著下降了。实验一中，当自由鼠无法躲进暗室减轻自身痛苦时，无社会接触组的自由鼠在测试第 3 天开始出现较多的不开门行为，而实验二中无社会接触组自由鼠的不开门行为大概在测试第 6 天起出现；同样，在测试最后一天，实验一中有 73 % 的大鼠不开门，而实验二中仅有 50 % 的自由鼠不开门。这些证据表明，暗室的存在使无社会接触组自由鼠的开门行为持续性增加。因此，对于无社会接触组而言，暗室的存在使自由鼠自身痛苦程度减轻，连续开门行为维持更久；而对社会接触组而言，暗室的存在会转移自由鼠的注意力，从而延缓了帮助行为。

同时，在暗室开放的情况下，我们还测量了实验二开门前自由鼠在暗室的时长，以衡量大

鼠的情绪状态（Bailey & Crawley, 2009）：在暗室停留时间长，表明它们较为焦虑或痛苦。结果发现（表 S18），无社会接触组的自由鼠在暗室逗留的时间是社会接触组的 4 倍，说明或许社会接触组和无社会接触组都需要减轻自身痛苦，但是无社会接触组有更强的动机减轻自身痛苦，且痛苦的减轻有助于促进帮助行为。另外，即使自由鼠没有开门，它们大部分的时间待在中室而不是暗室，表明减轻自身痛苦的动机并未强于社会接触的动机。

4.4 社会接触经历而不是被困经历可促进大鼠的帮助行为

Sato 等（2015）的研究证实，角色反转后，之前浸过水的大鼠开门速度显著快于之前未浸水的大鼠，表明以往的被困经验加快了它们开门解救同伴的速度；Rutte 和 Taborsky （2007）的研究也说明雌性大鼠的合作行为受到曾经被帮助经历的影响，而与帮助者的身份无关。实验三中通过角色反转探究被困经历能否影响帮助行为，结果发现过去的被困经历未使大鼠的开门延时变短；同时，实验三还探究了过去的社会接触经历对帮助行为的影响，发现之前有社会接触经历的大鼠即使开门后不能社会互动，其开门延时也比无社会接触经历的大鼠更短；而不论之前是否有社会接触经历，在测试中能够社会接触的大鼠开门延时都很短。Templer 等（2018）使用新颖社交测试发现，非社交环境下生长的大鼠更乐意接触陌生鼠。本研究中无社会接触经历组的大鼠在之前的实验情境中未曾接触其他大鼠，所以当它们能够社会接触时，将有强烈的动机实施帮助行为。总之，帮助行为受到社会接触经历而不是被困经历的影响。

4.5 熟悉性对大鼠帮助行为的影响较小

亲社会行为受到熟悉性偏差的调节（Bartal et al., 2014; Meyza et al., 2017）。为了探究熟悉性能否调节大鼠的帮助行为，我们比较了自由鼠对熟悉的和陌生的被困鼠的开门延时，结果表明，无论熟悉与陌生，自由鼠的开门延时并不存在显著差异。

啮齿动物可以通过视觉和嗅觉感知同类的状态（Langford et al., 2006）。Burkett 及其同事（2016）发现，在一夫一妻制的草原田鼠中，亲社会行为仅表现于熟悉的同伴中。观察鼠看到笼友疼痛时，对笼友的梳毛行为更多（Lu et al., 2018）。而 Bartal 等（2014）的研究表明，大鼠的帮助行为不仅发生在熟悉的笼友中，也会出现在陌生的同类中，对此认为大鼠是依据社会经验生活的群居性动物，它们从同伴那里获取感官线索，通过这些信息线索区分共享线索的陌生同类和不共享线索的外群体，导致帮助行为不仅发生在熟悉的笼友中，也会扩展到基因相似的陌生同类中。同样，本研究发现熟悉度对大鼠帮助行为的影响较小，这也可能是因为被试在学习阶段已学会了开门，对被困室的好奇和习惯是它们帮助行为的直接诱因和默认的行为模式。

4.6 从行为动机角度看，帮助行为不一定是亲社会行为

Bartal 等（2011）的研究发现，只有在被困鼠存在的情况下，大鼠的开门潜伏期才会呈现不断下降的趋势，其他条件则不会。我们的研究结果与此相似，说明有同类被困时，帮助行为的发生与对同类的关心相关，具有亲社会性。而在空笼与玩具鼠条件下，虽然大鼠也表现出“开门”这一行为结果，但促成其行为的动机是情境的趣味性（或探索空间的大小），不具有亲社会性。通常，亲社会行为指个人自愿做出的，对他人和社会有益的行为，包括分享、捐赠、安慰、合作、帮助、自我牺牲等（Snippe et al., 2018）；而 Ryan 等（1989）认为，亲社会行为是由某些内部或外部动机激发的，如寻求奖励、逃避惩罚、获得社会声誉等。因此，在行为结果方面，帮助行为对他人、对社会有益，是亲社会行为的一种；但在行为动机方面，帮助行为不一定是亲社会行为。

4.7 帮助行为动机的跨物种比较

本研究说明社会接触欲望和情境的趣味性是啮齿动物帮助行为的强大推动力，尤其是对社会接触的寻求甚至超过了减轻自身痛苦的动机，而共情或许并非维持大鼠帮助行为的主要原因。这样的帮助行为动机不仅存在于啮齿动物中，而且同样存在于非人灵长类动物及人类婴幼儿中。非人灵长类动物倾向于社会接触（Harlow & Zimmerman., 1959），关心同类并自发提供帮助（de Waal, 2007; Horner et al., 2011），或为了减轻情境中自身的痛苦而提供安慰（Koski & Sterck, 2010）；此外，社会互动是驱动幼儿帮助行为的强大激励因素（Giner Torréns et al., 2021），他们真诚地关心他人的福祉并通过瞳孔的变化表现出来（Hepach et al., 2012），同时，他人的痛苦状态使婴儿感到痛苦、紧张、悲伤（Michael & Szekely, 2019）。在本研究以及前人研究的基础上，我们认为帮助行为动机可能存在着发生发展的圈层模型。

哺乳动物具有内在的能力，能够通过原始的情绪传染与周围同类的痛苦和快乐产生共鸣（Panksepp, 2011），其前提是发展出区分自我状态和他人状态的能力（Hoffman, 1998）。在需要帮助的情境中，根据感知运动机制，个体自发处理信息，解码同类情绪，达到状态匹配，产生情绪共情（de Waal & Preston, 2017），这是帮助行为发生的基础过程。但是，情绪传染体验他人的能力不一定导致帮助行为。情绪共情既可能导致以他人为中心的，真诚关注他人福祉的帮助行为动机，也可能由于过度的情绪唤起陷入自身痛苦，产生为了缓解自身痛苦的帮助行为动机。另外，预期的奖赏也是帮助行为的动机，社会互动、社会接触具有奖励价值，伴随着催产素、多巴胺等神经肽信号的传导，腹侧纹状体、腹内侧前额叶皮层等脑区的激活（Marsh et al.,

2014），带来积极的情绪体验。因此，在帮助行为情境中，助人动机的发生与习得，涉及情绪共情、减轻自身痛苦动机、社会接触动机，是人与动物共有的。但人类拥有更高级的认知，还可能为了遵守社会规范（Siposova et al., 2021）、获得社会认同（Oarga et al., 2015）、实现自我价值等而帮助。总而言之，个体的帮助行为动机可能同样存在由情绪–行为系统到情感–认知系统、由低层次到高层次的演化发展顺序。

5 结论

本研究得出以下结论：

（1）社会接触的可能和经历，以及情境的趣味性是啮齿动物实施帮助行为的强大推动力；（2）缓解自身痛苦可以促进啮齿动物的帮助行为；（3）从比较认知的视角看，共情或许不是维持啮齿动物帮助行为的主要原因，而可能是对其帮助行为过程的一种理论描述。

参考文献：

黄翯青, 苏彦捷. (2012). 共情的毕生发展: 一个双过程的视角. *心理发展与教育*, *28*(4), 434–441.

王启忱, 刘赞, 苏彦捷. (2021). 共情的毕生发展及其神经基础. *中国科学:生命科学*, *51*(06), 717–729.

魏祺, 苏彦捷. (2019). 学龄前儿童中的共情及其不同成分. *心理技术与应用*, 7(09), 523–535.

Bailey, K. R., & Crawley, J. N. (2009). Chapter 5: Anxiety-related behaviors in mice. In *Methods of Behavior Analysis in Neuroscience*. CRC Press.

Bamberger, P. A., Geller, D., & Doveh, E. (2017). Assisting upon entry: Helping type and approach as moderators of how role conflict affects newcomer resource drain. *Journal of Applied Psychology*, *102*(12).

Bartal, I. B.-A., Breton, J. M., Sheng, H., Long, K. L., Chen, S., Halliday, A., Kenney, J. W., Wheeler, A. L., Frankland, P., Shilyansky, C., & others. (2021). Neural correlates of ingroup bias for prosociality in rats. *Elife*, *10*.

Bartal, I. B.-A., Decety, J., & Mason, P. (2011). Empathy and pro-social behavior in rats. *Science*, *334*(6061), 1427–1430.

Bartal, I. B.-A., Rodgers, D. A., Sarria, M. S. B., Decety, J., & Mason, P. (2014). Pro-social behavior in rats is modulated by social experience. *Elife*, *3*, e01385.

Bartal, I. B.-A., Shan, H., Molasky, N. M., Murray, T. M., Williams, J. Z., Decety, J., & Mason, P. (2016). Anxiolytic treatment impairs helping behavior in rats. *Frontiers in Psychology*, *7*, 850.

Bibb, L., James, M., Virginia, J., Bernard, L., & Howard, C. (1972). Stimulus determinants of social attraction in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *79*(1), 13.

Brown, R. E. (1979). Mammalian Social Odors: A Critical Review. In J. S. Rosenblatt, R. A. Hinde, C. Beer, & M.-C. Busnel (Eds.), *Advances in the Study of Behavior* (Vol. 10, pp. 103–162). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-3454(08)60094-7

Burkett, J. P., Andari, E., Johnson, Z. V., Curry, D. C., de Waal, F. B., & Young, L. J. (2016). Oxytocin-dependent consolation behavior in rodents. *Science*, *351*(6271), 375–378.

Campos, A.C., Ferreira, F.R., Guimarães, F.S., & Lemos.J.I. (2010). Facilitation of endocannabinoid effects in the ventral hippocampus modulates anxiety-like behaviors depending on previous stress experience. *Neuroscience*, (2). doi:10.1016/j.neuroscience.2010.01.062.

Carvalheiro, J., Seara-Cardoso, A., Mesquita, A. R., de Sousa, L., Oliveira, P., Summavielle, T., & Magalhães, A. (2019). Helping behavior in rats (Rattus norvegicus) when an escape alternative is present. *Journal of Comparative Psychology*, *133*(4), 452.

Clay, Z., & de Waal, F. B. (2013a). Bonobos respond to distress in others: Consolation across the age spectrum. *PLoS ONE*, *8*(1), e55206.

Clay, Z., & de Waal, F. B. (2013b). Development of socio-emotional competence in bonobos. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(45), 18121–18126.

Conti, G., Hansman, C., Heckman, J. J., Novak, M. F., Ruggiero, A., & Suomi, S. J. (2012). Primate evidence on the late health effects of early-life adversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(23), 8866–8871.

Costa, R., Tamascia, M. L., Nogueira, M. D., Casarini, D. E., & Marcondes, F. K. (2012). Handling of adolescent rats improves learning and memory and decreases anxiety. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, *51(5)*, 548-553.

Cox, S. S., & Reichel, C. M. (2020). Rats display empathic behavior independent of the opportunity for social interaction. *Neuropsychopharmacology*, *45*(7), 1097–1104.

de Waal, F. B. M. (2007). With a little help from a friend. *PLoS Biology, 5*(7), e190-.

de Waal, F. B. M., & Preston, S. D. (2017). Mammalian empathy: Behavioural manifestations and neural basis. *Nature Reviews Neuroscience*, *18*(8), 498–509. https://doi.org/10.1038/nrn.2017.72

Douglas, L. A., Varlinskaya, E. I., & Spear, L. P. (2004). Rewarding properties of social interactions in adolescent and adult male and female rats: Impact of social versus isolate housing of subjects and partners. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, *45*(3), 153–162.

Galef, B. G., & Wigmore, S. W. (1983). Transfer of information concerning distant foods: A laboratory investigation of the 'information-centre' hypothesis. *Animal Behaviour*, *31*(3), 748–758. https://doi.org/10.1016/S0003-3472(83)80232-2

Gerber, N., Schweinfurth, M. K., & Taborsky, M. (2020). The smell of cooperation: Rats increase helpful behaviour when receiving odour cues of a conspecific performing a cooperative task. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *287*(1939), 20202327. https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2327

Giner Torréns, M., Dreizler, K., & Kärtner, J. (2021). Insight into toddlers' motivation to help: From social participants to prosocial contributors. *Infant Behavior and Development*, *64*, 101603. https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2021.101603.

Gonzalez-Liencres, C., Juckel, G., Tas, C., Friebe, A., & Brüne., M. (2014). Emotional contagion in mice: the role of familiarity. *Behavioural Brain Research,* (263), 16-21.

Graham, K. L., & Burghardt, G. M. (2010). Current perspectives on the biological study of play: Signs of progress. *The Quarterly Review of Biology*, *85*(4), 393–418.

Hachiga, Y., Schwartz, L. P., Silberberg, A., Kearns, D. N., Gomez, M., &Slotnick, B. (2018). Does a rat free a trapped rat due to empathy or for sociality? *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *110*(2), 267–274.

Harlow, H. F., & Zimmermann, R. R. (1959). Affectional responses in the infant monkey. *Science*, *130*(3373), 421-432.

Havlik, J. L., Vieira Sugano, Y. Y., Jacobi, M. C., Kukreja, R. R., Jacobi, J. H. C., & Mason, P. (2020). The bystander effect in rats. *Science Advances*, *6*(28), eabb4205.

Henry, J., & Herrero, S. (1974). Social play in the American black bear: Its similarity to canid social play and an examination of its identifying characteristics. *American Zoologist*, *14*(1), 371–389.

Hepach, R., Vaish, A., & Tomasello, M. (2012). Young Children Are Intrinsically Motivated to See Others Helped. *Psychological Science*, *23*(9), 967–972. https://doi.org/10.1177/0956797612440571.

Hernandez-Lallement, J., Attah, A. T., Soyman, E., Pinhal, C. M., Gazzola, V., & Keysers, C. (2020). Harm to others acts as a negative reinforcer in rats. *Current Biology*, *30*(6), 949–961.

Heslin, K. A., & Brown, M. F. (2021). No preference for prosocial helping behavior in rats with concurrent social interaction opportunities. *Learning & Behavior*, *49*(4), 397–404.

Hiura, L. C., Tan, L., & Hackenberg, T. D. (2018). To free, or not to free: Social reinforcement effects in the social release paradigm with rats. *Behavioural Processes, 152*, 37–46. https://doi.org/10.1016/j.beproc.2018.03.014.

Hoffman, M. L. (1998). Varieties of empathy-based guilt. In J. Bybee (Ed.), *Guilt and children.* (1997-36487-004; pp. 91–112). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-012148610-5/50005-9

Horner, V., Carter, J. D., Suchak, M., & de Waal,F. B. M. (2011). Spontaneous prosocial choice by chimpanzees. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(33), 13847-13851.

Mogil, J. S. (2012). The surprising empathic abilities of rodents. *Trends in Cognitive Sciences* (3). doi:10.1016/j.tics.2011.12.012.

Kandis, S., Ates, M., Kizildag, S., Camsari, G. B., Yuce, Z., Guvendi, G., Koc, B., Karakilic, A., Camsari, U. M., &Uysal, N. (2018). Acetaminophen (paracetamol) affects empathy-like behavior in rats: Dose-response relationship. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *175*, 146–151.

Keysers, C., Knapska, E., Moita M. A., & Gazzola V. (2022). Emotional contagion and prosocial behavior in rodents.. *Trends in cognitive sciences*(8). doi:10.1016/J.TICS.2022.05.005.

Kight, K. E., Argue, K. J., Bumgardner, J. G., Bardhi, K., Waddell, J., & McCarthy, M. M. (2021). Social behavior in

prepubertal neurexin 1α deficient rats: A model of neurodevelopmental disorders. *Behavioral Neuroscience*, *135*(6), 782.

Knapska, E., Mikosz, M., Werka, T., & Maren, S. (2010). Social modulation of learning in rats. *Learning & Memory*, *17*(1), 35–42.

Koski, S. E., & Sterck, E. H. M. (2010). Empathic chimpanzees: A proposal of the levels of emotional and cognitiveprocessing in chimpanzee empathy. *European Journal of Developmental Psychology*, *7*(1), 38–66. https://doi.org/10.1080/17405620902986991

Langford, D. J., Crager, S. E., Shehzad, Z., Smith, S. B., Sotocinal, S. G., Levenstadt, J. S., Chanda, M. L., Levitin, D. J., & Mogil, J. S. (2006). Social Modulation of Pain as Evidence for Empathy in Mice. *Science*, *312*(5782), 1967–1970. https://doi.org/10.1126/science.1128322

Latané, B., & Werner, C. (1978). Regulation of social contact in laboratory rats: Time, not distance. *Journal of Personality and Social Psychology*, *36*(10), 1128.

Lavery, J., & Foley, P. (1963). Altruism or arousal in the rat? *Science*, 140, 172-173.

Li, C.-L., Yu, Y., He, T., Wang, R.-R., Geng, K.-W., Du, R., Luo, W.-J., Wei, N., Wang, X.-L., Wang, Y., & others. (2018). Validating rat model of empathy for pain: Effects of pain expressions in social partners. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 242.

Li, Z., Lu, Y.-F., Li, C.-L., Wang, Y., Sun, W., He, T., Chen, X.-F., Wang, X.-L., & Chen, J. (2014). Social interaction with a cagemate in pain facilitates subsequent spinal nociception via activation of the medial prefrontal cortex in rats. *PAIN*, *155*(7), 1253–1261.

Lu, Y.-F., Ren, B., Ling, B.-F., Zhang, J., Xu, C., & Li, Z. (2018). Social interaction with a cagemate in pain increases allogrooming and induces pain hypersensitivity in the observer rats. *Neuroscience Letters*, *662*, 385–388.

Márquez, C., Rennie, S. M., Costa, D. F., & Moita, M. A. (2015). Prosocial choice in rats depends on food-seeking behavior displayed by recipients. *Current Biology*, 25(13), 1736-1745. doi:10.1016/j.cub.2015.05.018.

Marsh, A. A., Stoycos, S. A., Brethel-Haurwitz, K. M., Robinson, P., VanMeter, J. W., & Cardinale, E. M. (2014). Neural and cognitive characteristics of extraordinary altruists. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(42), 15036–15041. https://doi.org/10.1073/pnas.1408440111

Mason, P. (2016). Helping Another in Distress: Lessons from Rats. The Evolution of Morality. *Springer International Publishing*, 177-194.

Mason, P. (2021). Lessons from helping behavior in rats. *Current Opinion in Neurobiology*. doi:10.1016/J.CONB.2021.01.001.

Meyza, K. Z., Bartal, I. B.-A., Monfils, M. H., Panksepp, J. B., & Knapska, E. (2017). The roots of empathy: Through the lens of rodent models. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *76*, 216–234.

Michael, J., & Székely, M. (2019). Goal slippage: A mechanism for spontaneous instrumental helping in infancy? *Topoi*, *38*(1), 173–183.

Oarga, C., Stavrova, O., & Fetchenhauer, D. (2015). When and why is helping others good for well-being? The role of belief in reciprocity and conformity to society's expectations: Helping and well-being. *European Journal of Social Psychology*, *45*(2), 242–254. https://doi.org/10.1002/ejsp.2092

Panksepp, J. (2011). Empathy and the Laws of Affect. *Science*, *334*(6061), 1358–1359. https://doi.org/10.1126/science.1216480

Pellis, S. M., & Pellis, V. C. (1997). The prejuvenile onset of play fighting in laboratory rats (Rattus norvegicus). *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, *31*(3), 193–205.

Pitman, D.L., Ottenweller, J.E. & Natelson, B.H. (1988). Plasma corticosterone levels during repeated presentation of

two intensities of restraint stress: Chronic stress and habituation. *Physiology & Behavior* (1). doi:10.1016/0031-9384(88)90097-2.

Rice, G. E., & Gainer, P. (1962). Altruism in the albino rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55, 123-125.

Rutte, C., & Taborsky, M. (2007). Generalized reciprocity in rats. *PLoS Biology*, *5*(7), e196.

Ryan, R M & Connell, J P.(1989).Perceived locus of causality and internalization: examining reasons for acting in two domains.. *Journal of Personality and Social Psychology* (5).

Sato, N., Tan, L., Tate, K., & Okada, M. (2015). Rats demonstrate helping behavior toward a soaked conspecific. *Animal Cognition*, *18*(5), 1039–1047.

Schmelz, M., Grueneisen, S., Kabalak, A., Jost, J., & Tomasello, M. (2017). Chimpanzees return favors at a personal cost. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(28), 7462–7467.

Schneeberger, K., Röder, G., & Taborsky, M. (2020). The smell of hunger: Norway rats provision social partners based on odour cues of need. *PLoS Biology*, *18*(3), e3000628. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000628

Schwartz, L. P., Silberberg, A., Casey, A. H., Kearns, D. N., & Slotnick, B. (2017). Does a rat release a soaked conspecific due to empathy? *Animal Cognition*, *20*(2), 299–308.

Silberberg, A., Allouch, C., Sandfort, S., Kearns, D., Karpel, H., & Slotnick, B. (2014). Desire for social contact, not empathy, may explain "rescue" behavior in rats. *Animal Cognition*, *17*(3), 609–618.

Siposova, B., Grueneisen, S., Helming, K., Tomasello, M., & Carpenter, M. (2021). Common knowledge that help is needed increases helping behavior in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *201*, 104973. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104973

Snippe, E., Jeronimus, B. F., aan het Rot, M., Bos, E. H., de Jonge, P., & Wichers, M. (2018). The Reciprocity of Prosocial Behavior and Positive Affect in Daily Life. *Journal of Personality*, *86*(2), 139–146. https://doi.org/10.1111/jopy.12299

Stukas, A. A., & Clary, E. G. (2012). Altruism and helping behavior. *Encyclopedia of Human Behavior (SecondEdition),* 8, 100-107.

Templer, V. L., Wise, T. B., Dayaw, K. I. T., & Dayaw, J. N. T. (2018). Nonsocially housed rats (Ratus norvegicus) seek social interactions and social novelty more than socially housed counterparts. *Journal of Comparative Psychology*, *132*(3), 240.

Tokuyama, N., Toda, K., Poiret, M.-L., Iyokango, B., Bakaa, B., & Ishizuka, S. (2021). Two wild female bonobos adopted infants from a different social group at Wamba. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–11.

Ueno, H., Suemitsu, S., Murakami, S., Kitamura, N., Wani, K., Matsumoto, Y., ... & Ishihara, T. (2019). Helping-Like Behaviour in Mice Towards Conspecifics Constrained Inside Tubes.. *Scientific Reports* (1). doi:10.1038/s41598-019-42290-y.

Vanderschuren, L. J., Niesink, R. J., & Van Pee, J. M. (1997). The neurobiology of social play behavior in rats. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *21*(3), 309–326.

Zahn-Waxler, C., Radke-Yarrow, M., Wagner, E., & Chapman, M. (1992). Development of concern for others. *Developmental Psychology*, *28*(1), 126.

（通讯作者: 尹彬 E-mail: byin@fjnu.edu.cn）

作者贡献声明：

韩书：参与研究设计，进行试验，采集与分析数据，论文起草与多次修订、报告；

陈亚勤：提出研究思路，设计研究方案，进行试验，采集与分析数据，论文起草；

郑本汇源，王雅欣：进行试验，采集数据；

尹彬：提出研究命题，提供研究资源，指导研究进行，指导论文撰写，论文修订与定稿。

附录

S1. 实验不同阶段示例



图 S1 实验一 自由鼠适应装置图



图 S2 实验一 自由鼠开门学习阶段图

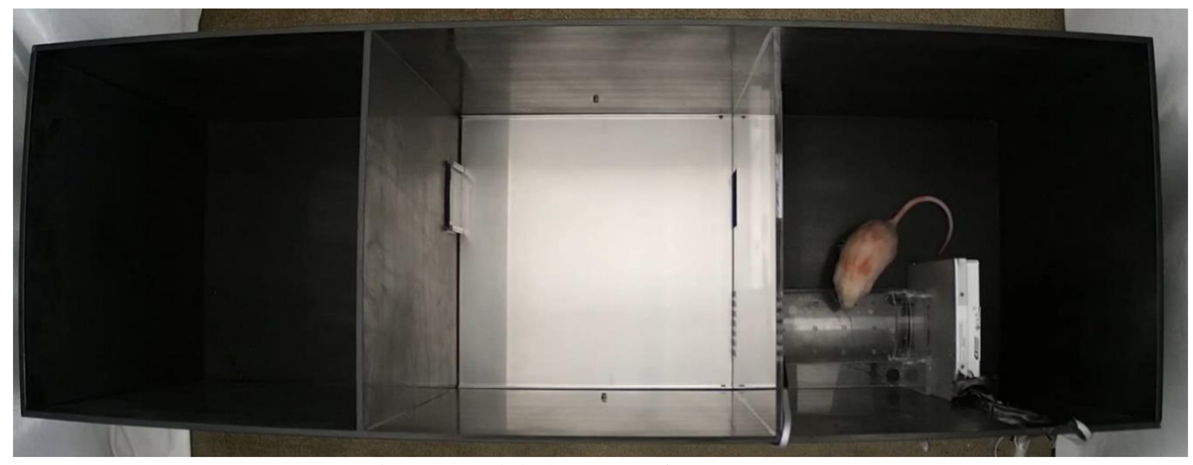


图 S3 实验一 社会接触组空笼条件正式测试阶段图



图 S4 实验一 社会接触组陌生鼠条件正式测试阶段图

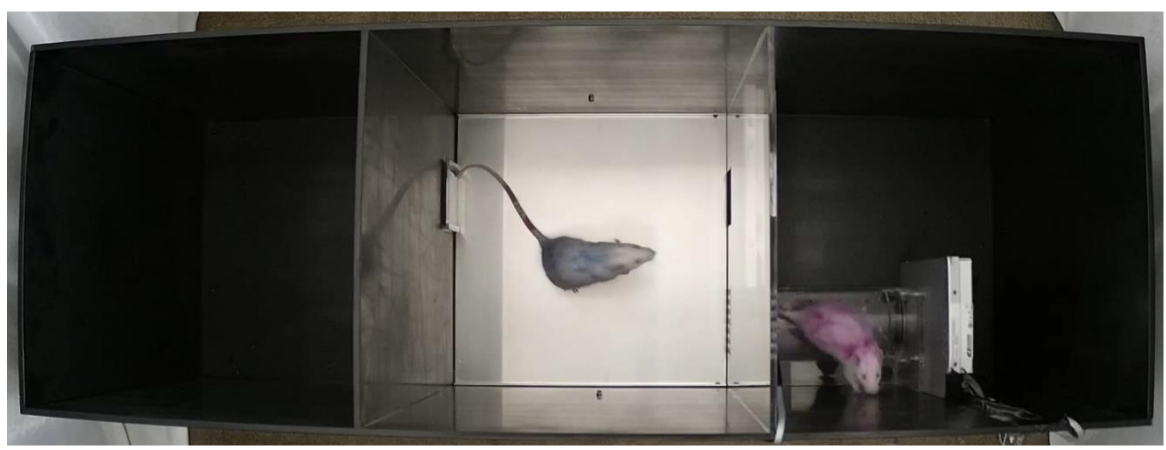


图 S5 实验一 无社会接触组熟悉鼠条件正式测试阶段图

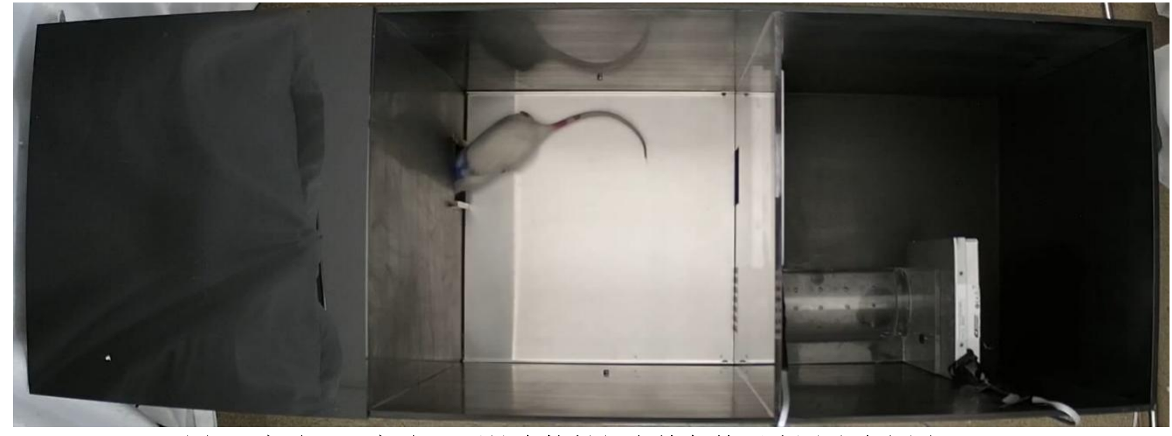


图 S6 实验二、实验三 无社会接触组空笼条件正式测试阶段图

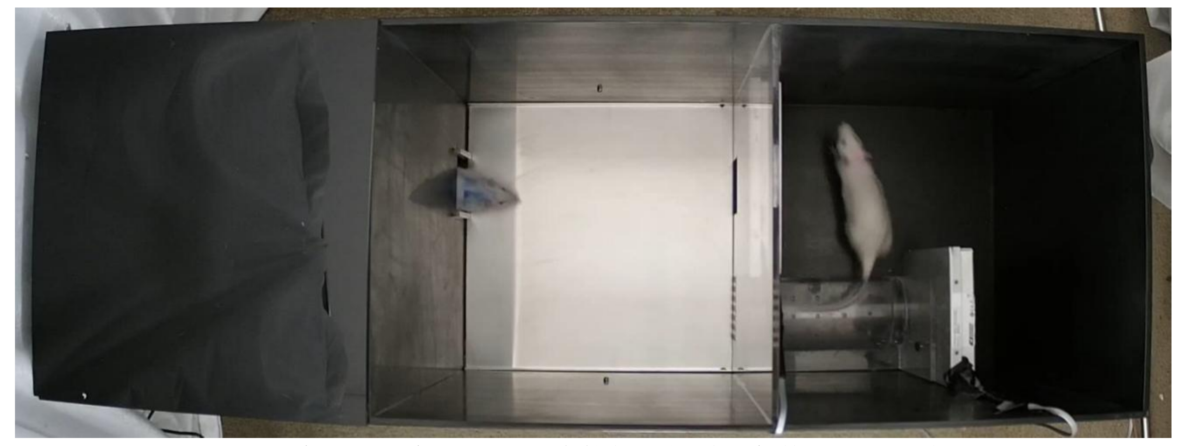


图 S7 实验二、实验三 无社会接触组熟悉鼠条件正式测试阶段图



图 S8 实验二、实验三 社会接触组玩具鼠条件正式测试阶段

S2 社会接触程序反转的补充实验

在实验一中，为验证社会接触组和无社会接触组在开门延时上的显著差异确实是由能否社会接触这一实验条件引起，我们另取 11 只同龄 Sprague–Dawley 大鼠，学会开门后进行 15 天的测试，并在测试第 9 天进行程序反转，此时社会接触组（n = 6）在开门后无法进入被困室与被困鼠接触，而无社会接触组（n = 5）在开门后可以进入被困室与被困鼠接触，反转程序持续了 7 天，结果如图 S9、表 S19 所示。以实验处理为组间变量，不同限制器条件和测试次数为组内变量进行重复测量方差分析，结果显示实验处理主效应不显著，$F(1, 9) = 3.30$，$p = .103$，$\eta^2_{partial} = .27$，即社会接触组的开门延时与无社会接触组的开门延时没有显著差异；限制器条件（空笼、熟悉鼠）主效应不显著，$F(1, 9) = 2.82$，$p = .127$，$\eta^2_{partial} = .24$，即不同的实验处理在不同的限制器条件下并没有差异；实验处理和限制器条件交互作用不显著，$F(1, 9) = 0.00$，$p = .955$，$\eta^2_{partial} = .00$；测试次数主效应显著，$F(14, 126) = 3.46$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .28$；测试次数和实验

处理交互作用显著，$F(14, 126) = 12.34$，$p < .001$，$\eta^2_{partial} = .58$；测试次数和限制器条件交互作用不显著，$F(14, 126) = 0.88$，$p < .583$，$\eta^2_{partial} = .09$；测试次数、限制器条件、实验处理三者交互作用显著，$F(14, 126) = 2.33$，$p = .007$，$\eta^2_{partial} = .21$。进一步检验发现，在测试的第 1、2、6、8 天，社会接触组和无社会接触组的开门延时差异不显著（$p = .092$; $p = .309$; $p = .500$; $p = .289$）；在测试的第 3、4、5、7 天，社会接触组和无社会接触组的开门延时差异显著（$p < .001$; $p < .001$; $p = .007$; $p = .017$），即社会接触组的开门延时比无社会接触组的开门延时短；在测试的第 9、12、14 天，社会接触组和无社会接触组的开门延时不存在显著差异（$p = .239$; $p = .228$; $p = .072$）；在测试的第 10、11、13、15 天社会接触组和无社会接触组的开门延时差异显著（$p = .029$; $p = .031$; $p = .032$; $p = .009$），即社会接触组的开门延时长于无社会接触组（反转后）。

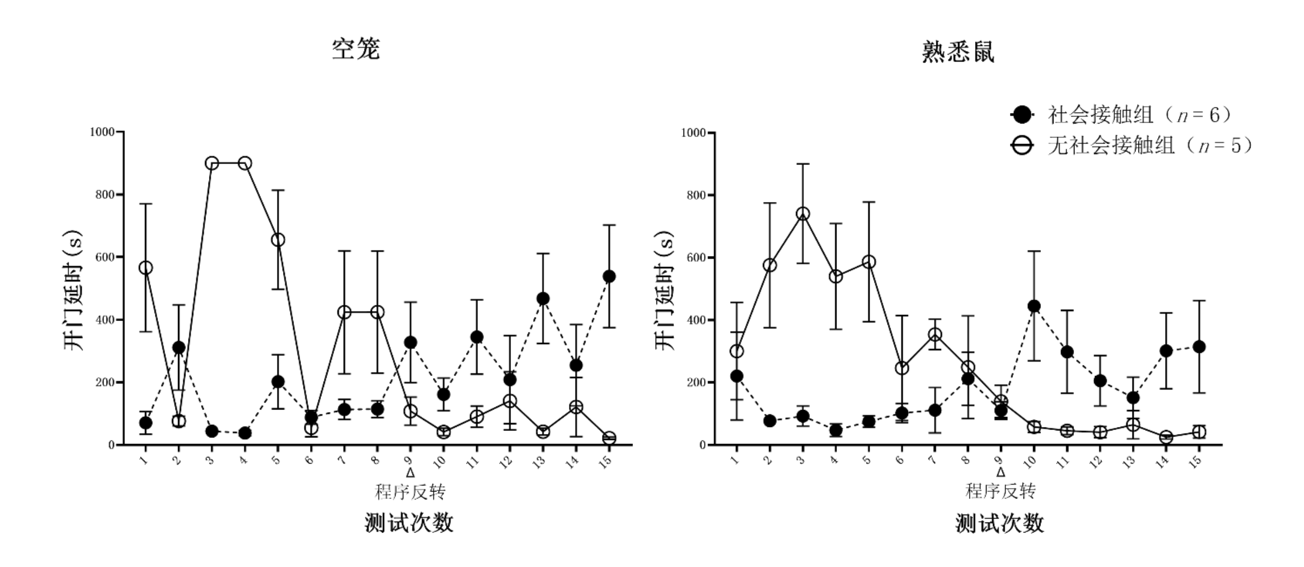


图 S9 社会接触组与无社会接触组在条件反转情况下的开门延时（s）折线图

S3 补充的表格

表 S1 实验一学习阶段开门延时（s）的推断性统计表

因素	F	p	$\eta^2_{partial}$
实验处理	0.36	.553	.01
学习次数	2.96	< .001	.10
实验处理*学习次数	1.53	.093	.06

表 S2-1 实验二学习阶段开门延时（s）的推断性统计表（保留第一天）

因素	F	p	$\eta^2_{partial}$
实验处理	6.02	.021	.19
学习次数	9.40	< .001	.27
实验处理*学习次数	1.66	.046	.06

表 S2-2 实验二学习阶段开门延时（s）的推断性统计表（剔除第一天）

因素	F	p	$\eta^2_{partial}$
实验处理	3.38	.078	.12
学习次数	9.50	< .001	.27
实验处理*学习次数	1.03	.419	.04

表 S3 实验三学习阶段开门延时（s）的推断性统计表

因素	F	p	$\eta^2_{partial}$
社会接触经历	0.19	.669	.01
实验中能否社会接触	0.52	.476	.02
学习次数	4.74	< .001	.17
社会接触经历*能否社会接触	1.38	.251	.05
学习次数*社会接触经历	3.50	< .001	.13
学习次数*能否社会接触	0.56	.905	.02
学习次数*社会接触经历*能否社会接触	0.71	.772	.03

表 S4 实验一测试阶段开门延时（s）的推断性统计表

因素	*F*	*p*	$\eta^2_{partial}$
实验处理	144.16	< .001	.85
测试时期	60.89	< .001	.70
限制器条件	3.22	.042	.11
测试时期*实验处理	64.16	< .001	.71
实验处理*限制器条件	3.27	.040	.11
测试时期*限制器条件	0.60	.689	.02
测试时期*实验处理*限制器条件	0.51	.761	.02

表 S5 实验一不同实验处理在不同测试时期各条件开门延时（s）的描述性统计表

实验处理	条件	前期	中期	晚期	条件	条件（总）
		M* ± *SE	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***
社会接触组	**空笼**	59.8±12.0	51.8±6.0	75.6±8.6	62.4±6.2	284.4±47.3
	熟悉鼠	92.0±17.4	53.7±4.9	54.7±8.2	66.8±7.7	307.7±50.0
	陌生鼠	61.1±8.5	54.0±6.3	54.1±4.0	56.4±4.6	303.6±52.1
	玩具鼠	56.8±7.0	65.0±15.0	61.9±9.4	61.2±7.9	273.3±45.9
	时期	67.4±10.5	56.1±5.9	61.6±6.9		**61.7±5.9**
无社会接触组	**空笼**	269.9±38.8	516.5±62.8	732.6±48.9	506.3±40.9	
	熟悉鼠	321.8±39.5	553.3±62.3	770.9±48.8	548.7±37.6	
	陌生鼠	285.2±54.8	564.4±62.6	802.9±35.0	550.8±42.8	
	玩具鼠	257.7±44.3	489.7±56.2	708.8±50.2	485.4±42.2	
	时期	283.6±39.3	531.0±55.8	753.8±36.7		**522.8±38.0**
时期总		175.5±28.8	293.6±53.3	407.7±69.1		**292.3±48.2**

表 S6 实验二测试阶段开门延时（s）的推断性统计表

因素	*F*	*p*	$\eta^2_{partial}$
实验处理	123.75	< .001	.83
测试时期	77.10	< .001	.75
限制器条件	9.97	< .001	.28
测试时期*实验处理	77.91	< .001	.75
实验处理*限制器条件	8.17	.001	.24
测试时期*限制器条件	3.61	.006	.12

测试时期*实验处理*限制器条件	3.90	.004	.13

表 S7 实验二不同实验处理在不同测试时期各条件开门延时（s）的描述性统计表

实验处理	条件	前期	中期	晚期	条件	条件（总）
		M ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*
社会接触组	空笼	82.7±11.7	76.9±15.5	85.0±10.1	81.5±11.4	221.4±31.0
	熟悉鼠	120.1±16.4	69.4±8.1	71.2±9.6	86.9±8.4	280.4±42.7
	陌生鼠	67.4±5.9	65.2±6.2	75.2±12.0	69.3±6.7	261.5±39.9
	玩具鼠	57.3±5.1	66.6±7.5	81.7±15.4	68.5±8.1	201.1±31.4
	时期	81.9±7.4	69.5±7.9	78.3±11.2		**76.6±7.9**
无社会接触组	空笼	226.1±27.7	317.0±34.8	540.7±50.0	361.3±29.1	
	熟悉鼠	308.6±43.6	389.4±61.4	724.0±41.7	474.0±41.5	
	陌生鼠	213.7±31.4	458.8±46.3	688.8±36.6	453.8±29.6	
	玩具鼠	195.3±34.0	272.1±37.8	533.9±56.9	333.8±36.5	
	时期	235.9±25.9	359.3±34.3	621.9±39.2		**405.7±28.5**
时期总		158.9±19.9	214.4±32.8	350.1±56.0		**241.1±34.8**

表 S8 实验一与实验二社会接触组开门延时（s）的推断性统计表

因素	*F*	*p*	$\eta^2_{partial}$
研究	2.27	.144	.08
测试时期	1.95	.152	.07
限制器条件	4.87	.004	.16
测试时期*研究	0.04	.961	.00
研究*限制器条件	1.04	.380	.04
测试时期*限制器条件	9.40	< .001	.27
测试时期*研究*限制器条件	1.06	.386	.04

表 S9 实验一与实验二社会接触组开门延时（s）的描述性统计表

研究	测试时期	条件				研究（总）
		空笼	熟悉鼠	陌生鼠	玩具鼠	
		M ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*
实验一	前期	59.8±12.0	92.0±17.4	61.1±8.5	56.8±7.0	61.7±5.9
	中期	51.8±6.0	53.7±4.9	54.0±6.3	65.0±15.0	

	晚期	75.6±8.6	54.7±8.2	54.1±4.0	61.9±9.4	
	前期	82.7±11.7	120.1±16.4	67.4±5.9	57.3±5.1	
实验二	中期	76.9±15.5	69.4±8.1	65.2±6.2	66.6±7.5	76.6±7.9
	晚期	85.0±10.1	71.2±9.6	75.2±12.0	81.7±15.4	

表 S10 实验一与实验二无社会接触组开门延时（s）的推断性统计表

因素	F	p	$\eta^2_{partial}$
研究	6.09	.021	.19
测试时期	140.21	< .001	.84
限制器条件	12.31	< .001	.32
测试时期*研究	3.05	.056	.11
研究*限制器条件	1.70	.175	.06
测试时期*限制器条件	2.62	.019	.09
测试时期*研究*限制器条件	1.12	.351	.04

表 S11 实验一与实验二无社会接触组开门延时（s）的描述性统计表

研究	测试时期	条件				研究（总）
		空笼	熟悉鼠	陌生鼠	玩具鼠	
		$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$
	前期	269.9±38.8	321.8±39.5	285.2±54.8	257.7±44.3	
实验一	中期	516.5±62.8	553.3±62.3	564.4±62.6	489.7±56.2	522.8±38.0
	晚期	732.6±48.9	770.9±48.8	802.9±35.0	708.8±50.2	
	前期	226.1±27.7	308.6±43.6	213.7±31.4	195.3±34.0	
实验二	中期	317.0±34.8	389.4±61.4	458.8±46.3	272.1±37.8	405.7±28.5
	晚期	540.7±50.0	724.0±41.7	688.8±36.6	533.9±56.9	

表 S12 实验三测试阶段开门延时（s）的推断性统计表

因素	F	p	$\eta^2_{partial}$
实验处理	28.50	< .001	.54
社会接触经历	0.69	.414	.03
测试时期	11.24	< .001	.32
限制器条件	0.44	.727	.02

社会接触经历*实验处理	2.47	.129	.09
测试时期*实验处理	19.12	< .001	.44
测试时期*社会接触经历	1.04	.361	.04
实验处理*限制器条件	0.26	.855	.01
测试时期*限制器条件	0.83	.549	.03
社会接触经历*限制器条件	0.64	.595	.03
测试时期*实验处理*限制器条件	0.59	.740	.03
测试时期*社会接触经历*实验处理	1.42	.252	.06
限制器条件*社会接触经历*实验处理	0.23	.878	.01
限制器条件*社会接触经历*测试时期	0.68	.663	.03
限制器条件*社会接触经历*测试时期*实验处理	0.36	.901	.02

表 S13-1 实验三不同实验处理在各测试时期各条件开门延时（s）的描述性统计表

实验处理		时期	空笼	熟悉鼠	陌生鼠	玩具鼠	时期	实验处理（总）
			M* ± *SE	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***
社会接触组	有社会接触经历	前期	157.6±51.6	191.3±45.3	141.6±39.2	105.4±26.2	149.0±38.5	
		中期	125.8±19.9	160.8±52.3	106.1±21.4	125.2±27.4	129.5±28.3	
		晚期	115.1±21.0	85.3±14.8	94.3±12.6	134.1±37.9	107.2±12.3	
			132.8±21.9	145.8±32.5	114.0±22.9	121.6±20.6		**128.5±22.6**
	无社会接触经历	前期	107.6±20.5	148.6±88.2	94.4±15.2	83.9±14.1	108.6±18.2	
		中期	81.4±15.8	64.4±12.0	79.8±13.5	111.1±37.1	84.1±14.4	
		晚期	62.9±5.4	98.4±19.2	59.5±11.1	80.0±16.7	75.2±10.7	
			84.0±9.2	103.8±15.0	77.9±10.3	91.6±12.5		**89.3±9.6**
	接触组（总）		108.4±13.3	124.8±18.2	95.9±13.1	106.6±12.3		**108.9±13.0**
无社会接触组	有社会接触经历	前期	198.5±53.8	217.5±41.5	137.1±32.2	176.9±55.3	182.5±27.8	
		中期	347.2±99.3	332.9±82.3	289.2±64.3	325.7±67.2	323.8±71.1	
		晚期	486.4±99.6	444.4±56.9	509.1±86.5	467.4±100.7	476.8±53.2	
			344.1±60.7	331.6±43.1	311.8±49.5	323.4±47.1		**327.7±42.4**
	无社会接触经历	前期	315.3±99.4	270.2±258.1	247.6±85.4	309.6±104.2	285.7±91.0	
		中期	516.6±118.7	533.4±130.4	558.9±111.8	555.1±129.8	541.0±118.7	
		晚期	459.6±110.6	550.8±105.0	557.5±132.6	583.7±124.7	537.9±100.6	
			430.5±102.2	451.5±100.0	454.7±96.4	482.8±95.7		**454.9±93.7**
	无接触组（总）		387.3±58.4	391.5±54.9	383.2±55.7	403.1±55.8		**391.3±52.5**
条件（总）			247.8±39.8	258.2±38.3	239.6±39.4	254.8±40.0		**250.1±38.0**

表 S13-2 实验三不同实验处理在各测试时期各条件开门延时（s）的描述性统计表

实验处理	前期	中期	晚期	实验处理（总）
	M ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*	
社会接触组	128.8±21.2	106.8±16.5	91.2±9.0	108.9±13.0
无社会接触组	234.1±47.9	432.4±73.0	507.4±55.3	391.3±52.5
有社交接触经历	165.7±23.3	226.6±45.6	292.0±57.6	228.1±36.0
无社交接触经历	197.2±50.9	312.6±85.5	306.6±80.5	272.1±68.0
时期（总）	181.4±27.6	269.6±48.3	299.3±48.6	

表 S14 实验二与实验三社会接触组开门延时（s）的推断性统计表

因素	*F*	*p*	$\eta^2_{partial}$
研究	5.08	.033	.16
测试时期	5.53	.007	.18
限制器条件	7.37	< .001	.22
测试时期*研究	0.56	.574	.02
研究*限制器条件	0.65	.586	.02
测试时期*限制器条件	6.51	< .001	.20
测试时期*研究*限制器条件	0.76	.606	.03

表 S15 实验二与实验三社会接触组开门延时（s）的描述性统计表

研究	测试时期	条件				研究（总）
		空笼	熟悉鼠	陌生鼠	玩具鼠	
		M ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*	*M* ± *SE*
实验二	前期	86.2±16.0	148.0±23.1	70.2±6.1	59.8±5.8	75.7±7.0
	中期	78.4±15.2	68.5±8.0	64.8±7.1	55.0±5.8	
	晚期	74.7±14.1	67.6±9.0	64.0±7.1	71.0±9.1	
实验三	前期	132.6±27.6	169.9 ±27.6	118.0±21.2	94.6±14.6	108.9±13.0
	中期	103.6±13.7	112.6±29.0	93.0±12.7	118.1±22.2	
	晚期	89.0±12.7	91.9±11.8	76.9±9.4	107.0±21.2	

表 S16 实验二与实验三无社会接触组开门延时（s）的推断性统计表

因素	F	p	$\eta^2_{partial}$
研究	2.48	.128	.09
测试时期	36.50	< .001	.58
限制器条件	2.13	.103	.08
测试时期*研究	2.07	.136	.07
研究*限制器条件	3.25	.026	.11
测试时期*限制器条件	2.26	.040	.08
测试时期*研究*限制器条件	0.48	.823	.02

表 S17 实验二与实验三无社会接触组开门延时（s）的描述性统计表

研究	测试	条件				研究（总）
	时期	空笼	熟悉鼠	陌生鼠	玩具鼠	
		$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$
实验二	前期	182.4±25.0	285.5±46.6	178.6±23.9	169.1±30.5	297.6±28.1
	中期	302.6±35.0	363.5±57.8	350.9±50.4	195.0±30.5	
	晚期	329.6±42.4	398.0±58.9	479.3±46.6	336.9±49.3	
实验三	前期	256.9±56.7	243.9±51.4	192.4±46.4	243.3±59.6	391.3±52.5
	中期	431.9±78.0	433.1±79.1	424.1±72.4	440.4±77.0	
	晚期	473.0±71.6	497.6±59.2	533.3±76.3	525.6±78.7	

表 S18 实验二不同条件不同实验处理下在暗室时长（s）的描述性统计表

实验处理	条件	空笼	熟悉鼠	陌生鼠	玩具鼠	总计
		$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$	$M \pm SE$
社会接触组	暗室时长	25.8±4.5	24.0±3.5	17.6±2.4	20.3±3.2	21.9±2.9
	中室时长	55.7±7.2	62.8±5.1	51.7±5.5	48.2±5.4	54.6±5.2
无社会接触组	暗室时长	81.0±9.8	116.4±12.3	102.2±8.2	56.1±4.9	88.9±5.5
	中室时长	280.2±29.2	357.6±37.0	351.6±27.4	277.7±33.5	316.8±27.4

表 S19 社会接触组与无社会接触组在不同条件下开门延时（s）的描述性统计表（程序反转补充实验）

测试	社会接触组		无社会接触组	
天数	空笼	熟悉鼠	空笼	熟悉鼠
	M* ± *SE	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***	***M* ± *SE***
1	70.5±36.2	220.7±140.6	566.2±204.6	300.8±155.8
2	311.5±136.2	77.2±18.6	76.4±15.4	575.8±199.7
3	44.2±17.5	92.7±32.2	900.0±0	740.8±159.2
4	38.0±8.6	47.2±20.1	900.0±0	540.0±169.3
5	202.2±86.5	75.2±18.6	655.4±158.1	586.6±192.0
6	88.3±22.1	102.3±30.9	54.8±28.6	246.2±168.1
7	113.3±31.9	111.3±72.5	423.8±196.2	354.2±48.5
8	114.3±26.8	212.0±48.9	424.2±195.0	249.0±164.6
9	327.7±128.5	110.3±28.3	108.2±44.7	139.4±52.4
10	161.3±52.6	445.0±175.1	41.6±11.5	57.8±17.2
11	345.0±119.0	298.2±132.6	90.4±33.9	45.6±12.4
12	208.8±140.5	205.8±80.7	140.6±92.8	41.0±17.8
13	467.7±143.9	151.3±65.9	42.4±10.6	64.8±45.4
14	254.7±129.9	301.7±121.3	121.2±94.5	25.2±6.3
15	538.5±163.4	314.8±147.9	21.6±3.4	41.8±20.0